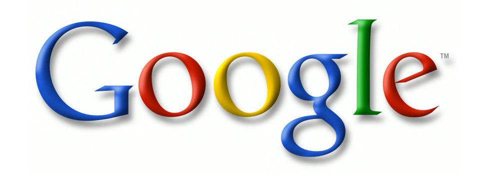



LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN

Kosmos



für Schulen und Laien.

Gemeinfaßlicher Abriß

der physischen Weltbeschreibung

nach

Alexander von Humboldts Gesichtspunkten

von

Dr. K. G. Reuschle,

Professor der Mathematik und Geographie zu Stuttgart.

Erster Theil.

Der Himmel.

Stuttgart.

Hallberger'sche Verlagshandlung.

1848.



Inhalt.

Erstes Buch.

Orientirung der Erde im Weltall und ihre kosmischen Naturverhältnisse.

Zweites Buch.

Naturgeschichte des Himmels.

Erster Theil.

Der Himmel.

Erstes und zweites Buch des Kosmos.

Erstes Buch.

Orientirung der Erde im Weltall und ihre kosmischen Naturverhältnisse.

I. **Die Erde ein frei im Raum schwebender Weltkörper unter Weltkörpern.** — Das Firmament und die Kugelgestalt der Erde. — Größe der Erde und Entfernungen der Gestirne. — Die irdische Schwere und die Ballung der Materie.

II. **Die Erde in freier Axendrehung um ihren Schwerpunkt begriffen.** — Der tägliche Kreislauf und die Axendrehung der Erde. — Geographische Lage der Erdorte und Verschiedenheit des gestirnten Himmels nach derselben. — Die irdische Schwungkraft und die Abplattung der Erde; Verschiedenheit der Schwere auf der Erdfläche; Zunahme der Dichte nach der Erdmitte. — Erhaltung der freien Drehaxe im Erdkörper, ihr Parallelismus im Raum und die Gleichförmigkeit der Axendrehung; Ursachen und Bedingungen dieser Bewegung überhaupt.

III. **Die Erde in fortschreitender Bewegung als Planet des Sonnensystems.** — Der jährliche Kreislauf und der Umlauf der Erde um die Sonne. — Das Kopernikanische Weltsystem und die Entfernungen der Fixsterne. — Jahreszeiten und Erdzonen. — Ungleichförmigkeit der jährlichen Bewegung, Sternzeit, mittlere Zeit. — Die elliptische Bewegung (Keplers Gesetze) und die Elemente der Erdbahn. — Die anziehende Kraft der Sonne und der ursprüngliche Seitenanstoß; das Spiel der Centralbewegung. — Die Gravitation des Mondes gegen die Erde und die allgemeine Massenanziehung (Newtons Himmelsmechanik).

1*

IV. **Die Erde unter dem Einfluß der allgemeinen Gravitation in ihren Bewegungen gestört und Glied höherer Systeme.** — Massenverhältnisse der Weltkörper und mittlere Dichte der Erde. — Schwankungen der Schiefe der Ekliptik und der Excentricität der Erdbahn innerhalb gewisser Gränzen; die Aeußersten der Schiefe. — Umläufe der Drehaxe und der Apsidenlinie der Erde; Sternjahr und tropisches Jahr. — Unveränderlichkeit des Sternjahrs, des Sterntags und der geographischen Breiten. — Ebbe und Fluth des Meeres und der Atmosphäre; Unabhängigkeit des Wetters vom Mond. — Gravitation der Sterne und fortschreitende Bewegung der Erde mit dem ganzen Sonnensystem; Systeme höherer Ordnungen, Sternsystem unserer Sonne.

I.

Die Erde ein frei im Raum schwebender Weltkörper unter Weltkörpern.

Wo immer auf der Erde ein Beobachter sich an einem ganz freien Platz befinden mag, sei es eine weitgedehnte Fläche, sei es eine die ganze Umgebung beherrschende Anhöhe, so übersieht er ein Stück der Erdfläche mit kreisförmiger Begränzung (Horizont) und wenn er in den Raum über sich hinausblickt, so sieht er sich von einem Gewölbe (dem sogenannten Himmel oder Firmament) umgeben, welches in dem irdischen Gesichtskreis zu ruhen scheint, und woran sich Sonne, Mond und Sterne zu befinden und zu bewegen scheinen. Von dieser Grunderscheinung gehen wir aus, um uns in diesem ersten Buch schrittweise zu der Weltanschauung der allgemeinen Schwere zu erheben. Wem ist es aber heutzutage noch unbekannt, daß jenes Firmament, d. h. das „feste“ Himmelsgewölbe, an dessen Wirklichkeit wohl ehedem selbst die Wissenschaft glaubte, ein bloßer Schein ist, ein optisches Erzeugniß des Auges? Der unendliche Weltraum, in dessen Nacht das Auge hinausblickt, erscheint demselben nothwendig kugelförmig begränzt, weil der Blick in allen möglichen Richtungen gleich weit reicht; oder sollte, wie Andere meinen, die innere Wölbung des Auges dabei im Spiel sein, so daß das Firmament das Gegenbild von der Wölbung der Netzhaut wäre? Das Firmament ist die Sehsphäre des Auges, an diese versetzt es alle Gegenstände des Weltraums, über deren verschiedene Entfernungen es schlechterdings kein Urtheil hat, es entwirft sich davon gleichsam ein perspektivisches Bild, ein Panorama des Weltalls, oder vielmehr dessen, was es vom Weltall gewahr

wird, wie der Maler das Bild einer Gegend auf einer Tafel. Welcher Abstand von diesem Rundbild zu der Einsicht in die wirklichen Verhältnisse des Weltraumes, welche im zweiten Buch die Naturgeschichte des Himmels erörtern wird, zu denen die Wissenschaft, unterstützt von den künstlichen Sehmitteln, durch nichts als Schlüsse gelangt ist!

Von Alters her hat man die Sterne, so wie sie in jenem Rundbild neben einander zu stehen scheinen, in Gruppen vereinigt, indem man die hellsten zu Grunde legte, und die Phantasie war geschäftig, den bei dieser Gruppirung entstehenden Figuren Namen zu schaffen. Daß diese Sternbilder keinen wirklichen physischen Verband anzeigen, braucht kaum bemerkt zu werden; wohl aber darf man vielleicht darauf aufmerksam machen, was es heiße, in diesem oder jenem Sternbild sei eine Erscheinung wahrgenommen worden. Man denke sich vom Auge aus durch die Sterne, welche z. B. den Umriß des Orion bilden, Linien in's Endlose gezogen, so sondern dieselben einen unbegränzten Raumausschnitt ab: innerhalb dieses Raumausschnitts befindet oder befand sich der Nebelfleck, der Komet, die Sternschnuppe, die man im „Orion, in seinem Fuß, Arm oder Hals" gesehen hat. Was man also innerhalb eines solchen Raumes am Himmel erblickt, kann in den verschiedensten Entfernungen vom Beobachter sich befinden. Der Gebrauch der Sternbilder zur Zurechtfindung am Himmel setzt aber die Unveränderlichkeit ihrer Umrisse voraus, und in der That behalten die Sterne stets dieselbe Stellung gegen einander, so daß die Sternbilder ihre Gestalt seit den ältesten Beobachtungen nicht merklich verändert haben; daher der Name Fixsterne im Gegensatz zu den wenigen Wandelsternen, welche nach Art von Sonne und Mond ihre Stellung unter jenen fortwährend ändern. Wir wissen jetzt, daß Nichts im Weltraum in vollkommener Ruhe ist, weßhalb man heutzutage die „Fixsterne" schlechtweg Sterne zu nennen pflegt, wir wissen aber auch, daß diese Ortsveränderungen der Sterne nur den schärfsten astronomischen Messungen zugänglich sind, und daß trotz derselben der bloße Anblick der Sternbilder auf Jahrtausende sich merklich gleichbleiben muß. Doch damit greifen wir

bereits späteren Betrachtungen vor; kehren wir zu unserer Grunderscheinung zurück.

Mit der gewonnenen Einsicht vom Himmel ist auch die nothwendig gegeben, daß die Erde ein allerseits begränzter, frei im Weltraum schwebender Körper ist, ohne alle feste Grundlage und Unterstützung, weder von Riesen noch von Elephanten getragen, weder durch Säulen noch durch Axen gehalten. Diese Einsicht, welche schon das Alterthum hatte, ist durch die Reisen an alle Theile der Erdfläche, zumal durch die sogenannten Reisen um die Welt, zur vollendeten Thatsache geworden; man ist bei letzteren eben dahin gekommen, wo das ununterrichtete Bewußtsein die feste Grundlage, die in's Unergründliche nach unten reichende Unterstützung der Erde (die Unterwelt) sich hindenkt, man hat hier überall dieselbe Grunderscheinung (unter sich die Erdfläche, über sich den Himmel) wahrgenommen und ist, in derselben Richtung fortgehend, an den Ausgangspunkt zurückgekehrt. Der andere Bestandtheil unserer Grunderscheinung reicht aber überdieß hin, uns über die ungefähre Gestalt der Erde zu belehren. Die Begränzung unserer irdischen Aussicht rührt nämlich nicht etwa von der Gränze des Sehens, vielmehr von der Wölbung der Erde her, indem durch allmälige Ersteigung größerer Höhen die Aussicht sich allmälig erweitert, dieselbe Erscheinung, wie die, daß Gegenstände bei ihrer allmäligen Annäherung auch allmälig sichtbar werden und bei ihrer allmäligen Entfernung allmälig verschwinden. Daß aber die Krümmung wenigstens nahezu kugelförmig sein muß, geht aus der Gestalt des Horizonts hervor, welcher überall auf der Erde kreisförmig ist; denn ein Körper, welcher überall kreisförmig begränzt erscheint, muß nahezu kugelförmig sein. Ja selbst zu einer ungefähren Kenntniß von der Größe der Erdkugel kann uns die Aussichterscheinung verhelfen, vermittelst einer leicht beweisbaren geometrischen Regel, daß die Höhe des Standpunktes sich zur Weite der Aussicht verhält, wie diese zum Durchmesser der Erde, und man kann sich dadurch überzeugen, daß der Halbmesser der kugelförmigen Erde die Meereshöhe der höchsten Berge wohl achthalbhundertmal übertreffen muß. Hiedurch erledigt sich dann auch

der Einwurf gegen die Kugelgestalt der Erde, den man von den mannigfaltigen Unebenheiten des Landes hernehmen könnte, sofern diese in der That für die Gestalt des Ganzen nicht störender sind, als die kleinen Vertiefungen in der Oberfläche einer Pomeranze. Von den Ergebnissen der genaueren Messungen der Erde aber kann erst im nächsten Abschnitt die Rede sein.

Da man hiernach den Standpunkt auf der Erde um deren Durchmesser oder um 1720 Meilen verändern kann, so fragt es sich, ob eine solche Verlegung des Beobachtungsorts eine veränderte Ansicht der Gestirne zur Folge haben wird, sofern man dadurch dem einen oder andern bis zu 1720 Meilen näher kommen könnte? Aber die Antwort ist Nein; der bloße Anblick merkt selbst beim Mond keine Veränderung, doch ist einer rohen Messung schon die veränderte Stellung des Mondes, nur einer sehr genauen die der Sonne zugänglich; an den Sternen aber nimmt auch die schärfste Messung keine Veränderung wahr, keine Parallaxe, wie man überhaupt die Ortsveränderung eines Gegenstandes nennt, welche eine Folge von einer Veränderung des Standpunktes ist. Den Entfernungen der Fixsterne gegenüber hat schon Ptolemäus die Erde als bloßen Punkt erkannt; wenn man von zwei gegenfüßlerisch liegenden Erdorten Linien nach dem nächsten Fixstern sich gezogen denkt, so schließen dieselben einen so außerordentlich kleinen Winkel ein, daß auch mit Werkzeugen, viele tausendmal schärfer als die jetzt gebräuchlichen, keine Messung unmöglich wäre. Ueberhaupt aber zeigt diese Erfahrung über die Aenderung des Standpunktes, daß die Abmessungen der Erde gegen die Entfernungen der Gestirne wiederum sehr klein sind, die des Mondes beträgt doch 60, die der Sonne aber 24000 Erdhalbmesser (in runden Zahlen) was man eben aus der Veränderung ihrer Stellung schließen konnte, die einer Veränderung des Standpunktes auf der Erdfläche entsprach. Nehmen wir dazu noch die Erfahrungen durch's Fernrohr. Wo das bloße Auge nur Einen Stern sieht, zeigt das Fernrohr oft zwei und mehrere; der Schimmer der Milchstraße löst sich schon in einem schwächeren Fernrohr in eine Menge von Sternen auf; wo dieses wiederum einen matten

nebelartigen Schimmer zeigt, entwickelt ein stärkeres Werkzeug Haufen von Sternen. Was folgt aber hieraus? daß diese dichtgeschaarten Fernrohrsterne wiederum sehr vielmal weiter entfernt sein müssen, als die vereinzelt stehenden Sterne, welche dem bloßen Auge zugänglich sind, so wie diese unvergleichlich weiter entfernt sein müssen, als Sonne, Mond und die übrigen Wandelsterne (Planeten), bei denen die Veränderung des Beobachtungsorts auf ihre wirklichen Entfernungen hat schließen lassen. Kurz wir gelangen zu der Einsicht, daß die Gestirne, die das Auge neben einander an das Firmament, als an seine Sehsphäre, versetzt, in der That in den verschiedensten Entfernungen von der Erde sich befinden, und größtentheils in so mächtigen Abständen, gegen welche die Erde zum Punkt zusammenschrumpft.

Diese Einsicht zieht aber noch eine andere nach sich, nämlich, daß alle Gestirne, die uns in so großen Entfernungen sichtbar sind, Weltkörper sein müssen, an Größe der Erde vergleichbar oder gar sehr vielmal größer, an Gestalt ihr ähnlich; daß also die Erde ein Gestirn unter Gestirnen, ein Weltkörper unter Weltkörpern ist. Ja bei denjenigen, welche wir unter dem Namen Wandelgestirne zusammenfassen, auf deren Entfernungen wir aus ihren irdischen Parallaxen schließen können, kann man sofort auch ihre Größe ermitteln. Sie zeigen alle, Sonne und Mond dem bloßen Auge, die Planeten wenigstens im Fernrohr, größere odere kleinere so ziemlich kreisförmige Scheiben. Aus diesen schließen wir zunächst, daß auch ihnen, wie der Erde, eine kugelähnliche Gestalt zukommen muß, indem diese einem Körper zuzuschreiben ist, welcher stets als kreisförmige Scheibe sich zeigt, und nur zu weit entfernt ist, als daß man seine Wölbung wahrnehmen könnte. Wir erschließen ferner ganz unmittelbar die wirklichen Durchmesser dieser Scheiben oder Kugeln aus der Größe des Sehwinkels, unter welchem dieselben in den betreffenden Entfernungen uns erscheinen; wir finden so beim Mond, daß sein Körper fünfzigmal kleiner, bei der Sonne aber, daß ihr Rauminhalt fast anderthalbmillionenmal größer sein muß, als der Erdball, welcher selbst 2500 Millionen

Kubikmeilen mißt. Die Sterne allerdings erscheinen auch im stärksten Fernrohr nur als leuchtende Punkte, allein wenn wir ihre ungeheuere Entfernung bedenken, so wird uns nicht nur wahrscheinlich, daß auch sie große Weltkörper sind, sondern auch daß sie mit eigenem Licht leuchten, wie die Sonne. Daß dagegen der Mond wie die Erde sein Licht von der Sonne empfängt, weiß Jedermann aus den Lichtgestalten des Mondes; dasselbe weist das Fernrohr von den Planeten nach, wer hat nicht schon die schöne Sichel des Abendsterns durch ein Fernrohr gesehen? und auch ohne Fernrohr kann Jedermann sich über den Unterschied des flimmernden Fixsternlichts von dem ruhigen Glanz der Planeten überzeugen. Und so ziehen wir aus dieser Betrachtung auch noch die Einsicht, daß es eine Anzahl erdähnlicher, an sich dunkler Weltkörper gibt, welche ebenfalls von der Sonne beleuchtet werden, und welche eben die uns nächsten Gestirne sind, diesen gegenüber aber eine Unzahl sonnenhaft selbstleuchtender Weltkörper, deren Entfernung von uns die der Sonne unverhältnißmäßig vielmal übertreffen muß.

Weitere Aufschlüsse wird uns die Bewegung der Erde geben. Daß sie aber sehr wahrscheinlich in Bewegung ist, das ist für den ein naheliegender Gedanke, der nunmehr die Erde als einen frei im Raum schwebenden Körper kennt. Wenn er ferner an materielle Grundlagen und Unterstützungen zu denken sich abgewöhnt hat, so wird sich ihm die Frage nach einer dynamischen Unterstützung darbieten, die Frage nach Kräften, welche den freischwebenden Körper in einer bestimmten Stellung erhalten, namentlich in derjenigen zu der Licht und Wärme spendenden Sonne. Darüber werden uns eben die Bewegungen der Erde aufklären. Unsere Einsicht in die Weltkörpernatur der Erde wäre aber nicht vollendet, wenn wir uns nicht die Frage vorhielten, die man der Lehre von Kugelgestalt und Antipoden entgegenhielt, lange vor der ersten Weltumseglung, welche die Schwierigkeiten thatsächlich gehoben hat. Die Antipoden müssen ja fallen, von der Erde wegfallen? fragte man in schlichter Einfalt: was hält überhaupt Alles an der Erde fest, das nicht Eine feste Masse mit ihr ausmacht? fragen wir, um die irdische

Schwerkraft zu besprechen, durch die allererst die Erde ein Ganzes ist. Die Schwere, vermöge der die Körper Gewicht haben, fallen und pendeln, vermöge der die Flüssigkeiten wagrecht sich lagern und fließend die tiefsten Stellen suchen, vermöge der die Luft den Druck ausübt, durch den Pumpen spielen und den des Barometer mißt: die Schwere ist es, welche Wasser und Luft, Felsen und Thiere, Häuser und Menschen an die Erde fesselt und alle irdischen Gegenstände zu einem Ganzen verbindet. Die Richtung, in der die Körper fallen und hängen, geht überall nach der Erdmitte, und dieser Punkt ist das gemeinschaftliche „Unten" für uns so gut wie für unsere Gegenfüßler.

Wir sind daher genöthigt, der Erde eine anziehende Kraft zuzuschreiben, welche sie auf alle Körper ohne Unterschied des Stoffs ausübt, (also eine Anziehung von ganz anderer Art als die magnetische), und welche gerade so wirkt, wie wenn sie in der Erdmitte ihren Sitz hätte, indem sie alle Körper dorthin zu ziehen strebt. Allein wir müssen uns die Sache vielmehr so denken, daß die anziehende Kraft dem ganzen Erdkörper zukommt; alle einzelnen materiellen Punkte der Erde ziehen z. B. diesen Stein an, der eben fällt, die Gesammtwirkung aus allen diesen einzelnen Anziehungen geht aber nach dem Mittelpunkt der Erde, weil um diesen her die einzelnen Massentheilchen gleichmäßig, wenigstens nahezu gleichmäßig angeordnet sind, gemäß der Gestalt der Erde. Und in der That hat man einen schlagenden Beweis für diese Ansicht von der Natur der Schwere in der kleinen Ablenkung von der senkrechten Richtung, welche man schon an Hänglothen in der nächsten Nähe vereinzelt stehender Berge beobachtet hat. Auch dieser Berg nämlich zog das Hängloth an, und seine Anziehungskraft, so gering sie ist gegen diejenige der übrigen Erdkugel, konnte mit dieser in sehr großer Nähe des angezogenen Gegenstandes einigermaßen in die Schranken treten. Daß nämlich kleinere oder größere Entfernung auch bei dieser, wie bei jeder Anziehung, von wesentlichem Belang ist, daß also die Schwerkraft z. B. auf hohen Bergen etwas kleiner ist, als am Gestade des Meeres, wird Jedermann natürlich finden; mancher Leser wird sich schon durch die mag-

netische Anziehung hievon überzeugt haben. Es ist auch nicht schwer, den Grund davon einzusehen; die anziehende Kraft breitet sich in der größeren Entfernung über einen größeren Flächenraum aus, und ist daher an jedem einzelnen Punkt dieser Kugelfläche um so schwächer, und zwar z. B. viermal schwächer in der zweifachen, neunmal schwächer in der dreifachen Entfernung, weil die Kugelfläche mit doppeltem Halbmesser viermal, mit dreifachem Halbmesser neunmal größer ist. Ueberhaupt wird sich hiernach die Größe einer anziehenden Kraft umgekehrt verhalten, wie die Quadratzahl der Entfernung des angezogenen vom anziehenden Körper. Wir können übrigens erst im letzten Abschnitt dieses Buches erschöpfende Einsicht in das Wesen der Schwerkraft gewinnen, und werden dann in ihr eine eigentliche Grundkraft des Weltalls erblicken.

Betrachten wir hier noch die Wirkungen der Schwere, die wir an der Erdfläche im Fall und Wurf, im Gewicht und Schwerpunkt, in den Pendelschwingungen beobachten, weil dieselben viel Licht über spätere Gegenstände unserer Betrachtung verbreiten werden.

Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers nimmt fortwährend zu, weil die Schwere unausgesetzt auf ihn wirkt, ihm gleichsam von Augenblick zu Augenblick neue Antriebe gibt, und zwar nimmt sie gleichmäßig zu, weil die Schwerkraft in so kleinen Abständen von der Erdfläche merklich sich gleichbleibt, so daß in der doppelten, dreifachen Zeit eine doppelte, dreifache Geschwindigkeit erreicht wird. In einem bestimmten Zeitraum wird aber eine so große Geschwindigkeit erreicht, daß wenn nach Verfluß desselben die Schwere aufhören würde, den Körper weiter zu beschleunigen, dieser in jedem folgenden Zeitraum einen Weg zurücklegen würde, doppelt so groß, als der im ersten Zeitraum zurückgelegte Weg; so legt ein fallender Körper in der ersten Sekunde rund 15 Pariser Fuß zurück, seine Geschwindigkeit ist also in derselben auf 30 Pariser Fuß für die Sekunde angewachsen, d. h. diesen Weg würde er in jeder folgenden Sekunde zurücklegen, wenn am Ende der ersten die Schwere beseitigt würde. Eben daher verhalten sich die in verschiedenen Zeiten

zurückgelegten Wege wie die Quadratzahlen der Zeiten, d. h. z. B. ein Körper durchfällt in 6 Sekunden 36mal 15 Fuß, in 10 Sekunden 100mal 15 Fuß. Wenn aber ein Körper in irgend einer andern Richtung als derjenigen der Schwere geworfen wird, so beschreibt er eine krummlinige Bahn; er würde nämlich geradlinig in der Richtung des Wurfs fortschreiten, wenn er nicht in jedem Augenblick durch die Schwere von der geradlinigen Richtung abgezogen würde. So krümmt sich die Wurfbahn gegen die Erdmitte und besteht (bei schiefem Wurf) aus einem aufsteigenden und einem ebenmäßigen absteigenden Bogen. Könnte aber die Weite des Wurfs so gesteigert werden, daß der Körper über die Erde hinausgeriethe, so würde er, in Fortsetzung seiner Bewegung nicht mehr gehindert durch das Zusammentreffen mit der Erde, gleichwohl aber stets von ihr nach dem Mittelpunkte angezogen, in geschlossener Krummbahn die Erde umkreisen (wie der Mond).

Die Schwerkraft ergreift einen Körper nicht bloß an seiner Oberfläche, wie ein äußerer Anstoß, sie wirkt vielmehr auf jedes kleinste Theilchen (Atom); daher dient der Druck eines Körpers nach unten, d. h. sein Gewicht zum Maß seiner Masse oder der Menge des in ihm vorhandenen Stoffs; daher mißt das specifische Gewicht eines Körpers seine Dichte oder den Grad, in welchem die in ihm vorhandene Materie den Raum erfüllt; daher beschleunigt die Schwere alle Körper auf gleiche Weise ohne Unterschied ihrer Masse oder ihres Gewichts, weßhalb sie im luftleeren Raum gleich schnell fallen, während sonst der Widerstand der Luft z. B. beim Fall einer Flaumfeder verzögernd einwirkt. Dabei gibt es aber in jedem Körper einen Punkt von der Art, daß der Körper im Gleichgewicht ist, wenn jener Punkt unterstützt ist, und dieß ist der Fall, wenn die Linie von der Erdmitte nach jenem Punkt, dem Schwerpunkt des Körpers, durch die Unterstützung geht, wobei aber diese Gleichgewichtslage hinfällig oder dauerhaft sein kann. Der Schwerpunkt ist zugleich Mittelpunkt der Masse, d. h. die Masse des Körpers ist um ihn gleichmäßig vertheilt, er fällt bei regelmäßiger Gestalt und Dichte mit dem Mittelpunkt der Figur

zusammen; bei der Erde z. B. muß er wenigstens nahezu mit der Erdmitte zusammenfallen und eben deßhalb ist letzterer Punkt zugleich der Mittelpunkt der Anziehung.

Ein Körper, welcher sich um eine feste wagrechte Axe drehen kann, ist in jeder Lage im Gleichgewicht, wenn jene Axe durch seinen Schwerpunkt geht; findet letzteres nicht Statt, so tritt ein, und zwar ein dauerhaftes Gleichgewicht ein, wenn die Linie von der Erdmitte nach seinem Schwerpunkt durch die feste Axe geht, und wenn diese außerdem über dem Schwerpunkt sich befindet. Wird ein solches Pendel aus seiner Gleichgewichtslage gebracht, so strebt es nach derselben zurück und macht Schwingungen um die erstrebte Lage her, welche so lange fortdauern, bis Widerstand der Luft und Reibung an der Axe dieselben vernichten, so daß es in der lothrechten Lage stehen bleibt. So lange die Weite dieser Schwingungen nicht zu groß ist, so dauern, dieselben gleich lang, die Weite mag etwas größer oder kleiner sein, z. B. 7 Grad oder 3 Grad betragen; wer kennt nicht die sinnreiche Anwendung des Pendels zur Zeitmessung, welche auf dieser Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen beruht? Die Dauer einer Schwingung nimmt zu mit der Länge des Pendels, diese ist im einfachsten Fall, wo etwa ein Metallkügelchen an einem feinen Faden hängt, eben die Länge dieses Fadens, bei einem zusammengesetzteren Pendel aber die Entfernung des Schwingungspunkts von der Axe, eines Punkts, den man durch Vergleichung mit einem einfachen Pendel ermitteln kann. Soll die Schwingungsdauer eines einfachen Pendels gerade eine Sekunde betragen, so muß es etwas über drei Pariser Fuß lang sein; ein viermal längeres Pendel vollendet alsdann eine Schwingung in zwei, ein viermal kürzeres in einer halben Sekunde; es verhalten sich überhaupt die Quadratzahlen der Schwingungszeiten wie die Pendellängen. Das einfache Pendel ist eines der schönsten physikalischen Instrumente; durch das Pendel hat man sich z. B. thatsächlich überzeugt, daß die Schwere mit der Erhebung über die Erdfläche abnimmt, indem ein und dasselbe Pendel auf dem hohen Andenberg Pichincha langsamer schwang als in der Stadt Quito, und hier lang-

samer als an der Küste; denn je stärker die beschleunigende Kraft der Schwere, desto schneller müssen natürlich die Pendelschwingungen unter sonst gleichen Umständen erfolgen.

Zu einer allernächsten Anwendung endlich ist auch das Verhalten einer flüssigen Masse unter dem Einfluß der Schwere zu erwähnen. Eine zusammenhängende flüssige Masse ist im Gleichgewicht, wenn ihre Oberfläche wagrecht, d. h. wenn die Richtung der Schwere in allen Punkten senkrecht zum Spiegel der Flüssigkeit ist, und dieß ist wiederum damit einerlei, daß alle Punkte des Spiegels gleichweit vom Mittelpunkt der Erde abstehen, weil die Schwere überall nach diesem gerichtet ist; wagrecht ist also so viel als kugelförmig um die Erdfläche, ein kleines Stück der ungeheuern Kugelfläche aber erscheint uns als vollkommen eben. Flüssigkeiten von verschiedener Dichte (specifischem Gewicht) lagern sich in Kugelschichten übereinander, deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt derjenige der Erde ist, so daß die dichteste der Erdmitte zunächst liegt; können sich diese Flüssigkeiten zu einer gleichartigen mischen, so ist dieses Gleichgewicht ein hinfälliges, dauerhaft dagegen im andern Fall (z. B. Quecksilber, Wasser, Oel). Befindet sich eine gleichartige d. h. gleichdichte Flüssigkeit in mehreren Becken (Gefäßen), die durch Seitenkanäle (Röhren) mit einander in Verbindung stehen, so gilt von den verschiedenen Spiegeln dasselbe, daß alle gleichweit von der Erdmitte abstehen oder gleich hoch stehen müssen, wenn Gleichgewicht vorhanden sein soll. Ist aber in den verschiedenen Becken die Dichte verschieden, so stellen sich die Spiegel derselben ungleich hoch, nämlich im umgekehrten Verhältniß der Dichten, Quecksilber z. B. 13- bis 14mal niedriger als Wasser, Eiswasser etwas niedriger als Siedwasser, da die Wärme die Dichte aller Körper vermindert.

Wir haben nun in der Schwere die Kraft kennen gelernt, welche die Erde zu einem Ganzen verbindet, und als solches erhält, so daß „sie kein Stäubchen ihrer Sphäre entreißen läßt.“ Wir haben aber auch in den Gestirnen andere, ähnlichgestaltete Weltkörper kennen gelernt, ebenfalls frei schwebend im unendlichen Raum. Wie können wir anders als jeden Weltkörper

uns ebenfalls als Sitz einer anziehenden Kraft zu denken, welche auf jedem nach dem Mittelpunkt desselben gerichtet ist und alle Körper an seiner Oberfläche festhält? Diese Vorstellung hatte schon Kopernikus, noch lange ehe man in der „allgemeinen“ Schwere auch das Band der Weltkörper untereinander erkannte, welche Einsicht das Ziel dieses ersten Buches ist. Aber noch mehr, sollte die Schwere, wie sie die Weltkörper als solche erhält, nicht auch zu ihrer Gestaltung gewirkt haben? Die kugelähnliche Gestalt, die wir allen Weltkörpern, wie der Erde, zuzuschreiben genöthigt waren, die „Ballung der Materie“ erscheint als eine Art von Weltgesetz, das auf eine gemeinschaftliche Ursache schließen läßt. In der That, wie eine flüssige Masse an der Erdfläche stets mit kugelförmiger Oberfläche um die Erdmitte sich lagert: so mußte die ganze Erdmasse zur Kugelgestalt streben, wenn sie ursprünglich in flüssigem Zustand sich befand, der gegenseitigen Anziehung der Theilchen überlassen. Die fortgesetzten Bewegungen in dieser flüssigen Masse konnten erst zur Ruhe gelangen, nachdem sich eine Folge von Kugelschichten nach Maßgabe der Dichten um den Schwerpunkt des Ganzen hergelagert hatte. Eben daher rührt die Ballung der Flüssigkeiten im Kleinern, die Tropfenbildung, die wir beständig wahrnehmen, wo übrigens die gegenseitige Anziehung der Flüssigkeitstheilchen so vielen störenden Einflüssen, vor Allem der Erdschwere selbst, ausgesetzt ist.

Damit hätten wir den ersten Schritt zur Zurechtfindung der Erde im Weltall gethan, der uns zuletzt bis an die Pforten der Geologie geführt hat. Blicken wir bei diesem ersten Schritt zurück auf die Verkettung der Gedanken. Das Nachdenken über die alltäglichste aller Erscheinungen, Horizont und Firmament, nöthigte uns dieses als Schein, die Erde als frei im Raum schwebender Körper zu fassen; der irdische Gesichtskreis belehrte uns über Gestalt und Größe der Erde in einer ersten Näherung, und hieran knüpfte sich die erste Ahnung von den großen und verschiedenen Entfernungen der Gestirne, so wie von der Weltkörpernatur derselben in den verschiedensten Größenverhältnissen, aber mit gleichmäßiger Gestalt; die Vorstellung

frei schwebender Körper im Raum erweckte den Gedanken anziehender und zusammenhaltender Kräfte, die in den alltäglichen Wirkungen der irdischen Schwerkraft uns nahe genug lagen und uns zuletzt dahin führten, bereits das kosmische Ballungsgesetz der Materie auszusprechen. Wir vollenden die Orientirung der Erde in den drei folgenden Abschnitten, welche eben so viele weitere Schritte hiezu enthalten, und zugleich den Theil der Physik der Erde enthalten, welcher mit der Physik des Himmels verwachsen ist.

II.

Die Erde in freier Axendrehung um ihren Schwerpunkt begriffen.

Die zweite Grunderscheinung, durch welche wir uns weiter über die kosmischen Beziehungen der Erde unterrichten wollen, ist der tägliche Kreislauf der himmlischen Erscheinungen, gleich auffallend durch die Raschheit wie durch die Allgemeinheit der Veränderungen, welche er dem unmittelbaren Anblick vorführt, indem alle Gestirne daran Theil nehmen, indem durch die Theilnahme der Sonne der Wechsel von Tag und Nacht hervorgebracht wird, indem der Anblick des Himmels während einer einzigen Nacht gänzlich sich ändert durch das Heranrücken neuer Sterngruppen an die Räume, welche wenige Stunden zuvor andere eingenommen hatten. Bei diesem allgemeinen Fortrücken von Osten nach Westen behalten alle Fixsterne stets ihre gegenseitigen Stellungen, alle scheinen vollkommene Kreise vollkommen gleichförmig zu beschreiben, Kreise, welche sich nicht schneiden, sondern einander parallel sind. Die Mehrzahl geht wie die Sonne in der Osthälfte des Horizonts auf, steigt schief zu einer höchsten Höhe über dem Horizont an, sinkt sofort eben so und geht in der Westhälfte unter, um Tags darauf in demselben Punkt des Osthorizonts sich wieder zu erheben. Ein Theil der Sterne bleibt bei diesem Kreislauf beständig über dem Horizont, es sind die Nordsterne, ein ähnlicher Theil, die Südsterne, erhebt sich nie über denselben. Jene stets sichtbaren Nordsterne beschreiben ihre vollständigen Kreise am sichtbaren Theil des Himmels, diese werden kleiner und kleiner, die Bewegung also um so langsamer, je näher sie sich dem sogenannten Polarstern be-

finden, an dem das bloße Auge fast gar keine Bewegung wahrnimmt. Kurz, die allgemeine Bewegung der Sterne geht so vor sich, wie wenn alle Sterne am Himmelsgewölbe fest ständen, dieses aber in einer gleichförmigen Axendrehung begriffen wäre, welche fast 24 Stunden nach unserer bürgerlichen Zeitrechnung dauert und deren Axe nahezu durch den Polarstern und durch das Auge des Beobachters, oder, was wegen der ungeheuren Entfernung der Sterne dasselbe ist, durch den Mittelpunkt der Erde geht, deren Oberfläche sie dann in den beiden Polen schneidet.

Mit dieser Einsicht in das Wesen der Erscheinung ist auch die Ursache mehr als angedeutet. Die Axendrehung des Himmels ist ein bloßer Schein, wie der Himmel selbst, das Spiegelbild von der Axendrehung der Erde, welche in jenem Zeitraum und um jene Axe vor sich geht, aber in der entgegengesetzten Richtung von Westen nach Osten. In der That, indem sich der Beobachter mit der ganzen Erde von Westen nach Osten dreht, senkt sich sein Horizont unter einen Stern, d. h. der Stern geht auf, erhebt sich sein Horizont über einen Stern, d. h. der Stern geht unter u. s. w. Es liegt auf der Hand, wie alle Erscheinungen des täglichen Kreislaufs hieraus sich erklären. Wer steht heutzutage noch an, zu entscheiden, welche von beiden Bewegungen die wirkliche sei? Auf der einen Seite die hohe Wahrscheinlichkeit, daß die Erde als ein frei im Raum schwebender Körper in Bewegung ist, zunächst einer fortschreitenden, mit der aber auch eine drehende so gut verbunden sein kann, wie in unzähligen anderen Fällen; die Nothwendigkeit, daß wir diese Bewegung nicht unmittelbar, (weil wir das Ganze nicht übersehen, das sich bewegt), sondern nur durch die Veränderung der Umgebung wahrnehmen können, welche an der Bewegung nicht Theil nimmt. Auf der anderen Seite die gänzliche Unwahrscheinlichkeit, daß eine Unzahl von Weltkörpern, welche sich in den verschiedensten Entfernungen von uns und von einander befinden, zu einer gemeinschaftlichen Bewegung um die Erde verbunden sein sollten, einer Bewegung, bei der die abenteuerlichsten Geschwindigkeiten und Kräfte im Spiel sein müßten; was

sollte die Sterne hiezu verbinden, wenn nicht eben jenes feste Gewölbe, das uns bereits in Schein sich aufgelöst hat.

Es ist hier keineswegs der Ort, alle die Einwürfe anzuführen und zu widerlegen, welche damals auftauchten, als die Lehre von der Axendrehung der Erde zum Erstenmal aufgestellt wurde. An einen dieser Einwürfe aber knüpft sich zu Merkwürdiges an, als daß wir ihn übergehen dürften. Wenn die Erde, sagte man, von Westen nach Osten sich dreht, so muß ein Stein, den man von der Spitze eines Thurmes fallen läßt, westlich vom Fuße des Thurms den Boden erreichen, weil der Fuß des Thurms mit der Erde während des Falls ostwärts sich fortbewegt hat. Man hat dabei vergessen, daß auch der Stein, sowie die Hand die ihn fallen läßt, sowie Alles, was zur Erde gehört, auch Luft und Wolken, in der Axendrehung des Erdganzen mitbegriffen ist, wie denn auch ein Ball, der auf einem Schiffe senkrecht in die Höhe geworfen wird, auf das Schiff zurückfällt, weil auch er die fortschreitende Bewegung des Schiffes theilt. Das Merkwürdige hiebei ist aber dieß, daß dieser Einwurf gegen die Axendrehung weiterhin in einen Beweis für die Axendrehung umschlug. Da nämlich die Spitze des Thurms, so schloß man, einen größeren Kreis bei der Axendrehung in derselben Zeit beschreibt, als der Fuß, mithin eine größere Geschwindigkeit hat als dieser, so muß der von der Spitze fallende Stein, der dieselbe größere Geschwindigkeit hat, weit entfernt gegen den Fuß des Thurmes zurückbleiben, vielmehr demselben ostwärts voraneilen, und wenn auch um weniges östlich auffallen. Und in der That haben zahlreiche Fallversuche der Art, die an hohen Thürmen und tiefen Gruben angestellt wurden, diesen Schluß und damit die Axendrehung der Erde thatsächlich bestätigt. Benzenberg, welcher diese Versuche anstellte, hat den sinnreichen Gedanken gehabt, die Geschichte derselben in ein Leben des Kopernikus zu verweben, des Mannes, der zuerst die Bewegung der Erde mit Bestimmtheit gelehrt hat. Können wir es also auch nicht dahin bringen, die Erde unter uns sich wegdrehen zu sehen, so können wir ihre Drehung doch schon in fallenden Körpern wahrnehmen; wir werden übrigens noch mehr

Erscheinungen kennen lernen, bei welchen die Axendrehung der Erde im Spiel ist.

Durch die Axendrehung der Erde sind auf ihrer Oberfläche zwei Punkte, die Pole, sowie die durch beide gehenden Meridiankreise, und der diese in gleichen Abständen von den Polen rechtwinklig durchschneidende Aequator mit seinen Parallelkreisen festgesetzt, und damit ist das Gradnetz gegeben, wornach man die Lage der Orte auf der Erde angiebt, die geographische Breite und Länge. Die Axendrehung der Erde liefert selbst auch die Mittel, die Breite und Länge eines Orts zu ermitteln. Da der Scheitelpunkt eines Erdorts 90 Grad vom Horizont, der Pol 90 Grad vom Aequator absteht, so muß der Pol vom Horizont um ebensoviel Grade abstehen, als der Scheitelpunkt vom Himmelsäquator, d. h. als der Erdort selbst vom Erdäquator; mit andern Worten, die Höhe des Pols über dem Horizont eines Orts, dessen Polhöhe ist der geographischen Breite des Orts gleich. Da nun der Polarstern nahezu senkrecht über dem Nordpol der Erde steht, so darf man nur seine Höhe über dem Horizont eines Orts messen, um dessen geographische Breite nahezu kennen zu lernen; zu einer genaueren Bestimmung aber eignen sich die Circumpolarsterne überhaupt, indem man ihre Höhe bei ihren beiden Meridianständen mißt, zwischen denen der Pol in der Mitte liegen muß. Da ferner wegen der Axendrehung ein und dasselbe Gestirn, namentlich also die Sonne, nach welcher sich die bürgerliche Zeit richtet, dem östlicheren Ort früher aufgeht und kulminirt, als dem westlicheren, und da das scheinbare Fortrücken der Sonne, d. h. die Axendrehung der Erde gleichförmig ist: so kann man aus dem Zeitunterschied zweier Orte auf ihren Längenunterschied schließen, d. h. um wie viel Grade der eine östlich oder westlich vom andern liegt, wobei das Grundverhältniß ist, daß 360 Grade auf 24 Stunden kommen. Man dürfte also nur eine gut gehende Pariseruhr nach Berlin bringen und mit einer gutgehenden Berlineruhr vergleichen, um aus ihrem Unterschied den Längenunterschied der beiden Orte zu erschließen. Ohne aber auf den Uhrentransport sich einzulassen, dürfte man nur an den beiden Orten ein und dasselbe Ereigniß,

sei es ein Feuersignal auf Erden, sei es eine Finsterniß am Himmel, gleichzeitig beobachten und die beobachteten Uhrzeiten sofort brieflich vergleichen, um vollkommen dasselbe zu erreichen.

Die Erscheinung des täglichen Kreislaufs ist nach der geographischen Breite verschieden. Der gestirnte Himmel zerfällt für alle Erdorte (ausgenommen die Pole und die Aequatororte) in drei Zonen, die Zone der stets sichtbaren Circumpolarsterne (für uns auf der nördlichen Halbkugel die Nordsterne), die Zone der auf- und untergehenden Sterne halbirt vom Aequator, und die Zone der stets unsichtbaren Sterne um den andern Pol (für uns die Südsterne). Die Größe derselben hängt von der geographischen Breite (Polhöhe) ab; alle Sterne, welche nicht um mehr Grade vom Nordpol abstehen, als unser Beobachtungsort vom Aequator, sind für uns die stets sichtbaren Nordsterne; diejenigen aber, welche bis auf dieselbe Weite vom Südpol abstehen, sind für uns die stets unsichtbaren Südsterne; diejenigen endlich, welche dazwischen liegen, nördlich und südlich vom Aequator stehen, gehen auf und unter dergestalt, daß bei den nördlichen der Tagebogen, bei den südlichen der Nachtbogen der größere ist, bei den Aequatorsternen dagegen beide gleich sind, (daher allgemeine Tag- und Nachtgleiche auf der Erde, wenn die Sonne senkrecht über dem Aequator steht). Je größer daher die geographische Breite eines Orts ist, desto größer sind für dieselben die Zonen der sichtbaren sowohl als der unsichtbaren Circumpolarsterne, desto kleiner die Mittelzone, bis diese an den Polen gänzlich verschwindet, so daß hier die eine Hälfte des gestirnten Himmels stets, die andere nie sichtbar ist. Je kleiner dagegen die geographische Breite, desto mehr nimmt die Mittelzone zu, die beiden anderen ab, bis diese unter dem Aequator selbst ganz verschwindet, so daß hier alle Sterne des Himmels auf- und untergehen, und nur ein genau über einem der Pole stehender Stern beständig im Horizont sich befände. In den Aequatororten, in deren Horizont stets die Pole sich befinden, sieht man ferner alle Gestirne senkrecht über den Horizont aufsteigen und gleich lang über wie unter demselben verweilen, daher die beständige Tag- und Nachtgleiche unter dem Aequator.

Das Schiefaufsteigen nimmt vom Aequator nach den Polen hin beständig zu, bis diese selbst, deren Horizont der Aequator ist, sämmtliche Gestirne der einen Halbkugel stets parallel dem Horizont kreisen sehen. Als in der Zeit der großen geographischen Entdeckungen die Europäer zuerst auch auf die südliche Halbkugel kamen, entdeckten sie nicht nur neue Länder, sondern auch neue Himmelserscheinungen und Sternbilder, und der Name der Magellanischen Wolken erinnert stets an die Ueberraschung, die der erste Anblick der früher in Europa gänzlich unbekannten Räume des Südhimmels gewährte.

Die Axendrehung der Erde spielt eine bedeutende Rolle bei vielen irdischen Hergängen, unter denen freilich der Wechsel von Tag und Nacht voransteht, die stets die Erde umwandelnde Gränze der Beleuchtung und Erwärmung durch die Sonne. Ihren Einfluß auf Strömungen des Meeres und der Luft behalten wir der Naturgeschichte der Erde vor. Hier aber ist eine aus der Axendrehung entsprungene irdische Kraft zu erwähnen, die sich der Schwere zur Seite stellt und so zu sagen mit ihr fortwährend kämpft, aber auch Spuren einer vorgeschichtlichen Wirksamkeit hinterlassen hat, in denen sie ihre „geologische" Rolle gespielt hat. Es ist die Schwungkraft, eine Kraft, welche bei jeder krummlinigen, insbesondere also bei den Kreisbewegungen einer Axendrehung entsteht und die kreisenden Massentheilchen von der Axe, rechtwinklig zu derselben, zu entfernen strebt. Sie ist eine Folge von der gewaltsamen Ablenkung der kreisenden Theilchen von der geradlinigen Richtung, welche dieselben stets ihrer Trägheit zu Folge zu behalten streben. Wer hat nicht schon die Folgen dieses Zwangs an Rädern aller Art bemerkt oder beim Walzen erfahren? Bei der Axendrehung eines Körpers nun beschreiben alle Theile desselben größere und kleinere Kreise, je nach ihren Abständen von der Axe (den Halbmessern dieser Kreise); da aber alle diese Kreise in derselben Zeit (bei der Erde in einem Tag) beschrieben werden, so ist die Geschwindigkeit der einzelnen Kreisungen um so größer, je größer ihre Halbmesser sind, und desgleichen die dabei entwickelten Schwungkräfte. An der Erdoberfläche ist daher Geschwindigkeit

und Schwungkraft um so größer, je größer der Halbmesser des Parallels, d. h. je kleiner die geographische Breite ist, am größten am Aequator, Null an den Polen; beides ist ferner unter einer und derselben Breite um so größer, je höher der betreffende Ort über der Meeresfläche liegt (wir haben hievon bereits für die Geschwindigkeit oben eine Anwendung gemacht). Die Richtung der Schwungkraft ist derjenigen der Schwere entgegengesetzt, gerade entgegengesetzt aber nur unter dem Aequator, überall sonst unter einem stumpfen Winkel, der mit wachsender Breite an Stumpfheit abnimmt. Wir haben also an der irdischen Schwungkraft eine der Schwere entgegenwirkende Kraft und zwar in verschiedenem Grad an verschiedenen Orten der Erde. Warum sie nichts von der Erde losreißt und in den Raum hinaus schleudert, was man früher gegen die Axendrehung der Erde geltend machen wollte, erledigt sich ganz einfach dadurch, daß bei der bestehenden Geschwindigkeit der Drehung die Schwungkraft von der Schwere weit überwogen wird.

Betrachten wir zuerst den Kampf der beiden Kräfte bei der Ballung der Erdmaterie. Daß die Erde als ursprünglich flüssige Masse unter dem bloßen Einfluß der Schwere vollkommene Kugelgestalt annehmen mußte, haben wir gesehen; die Schwungkraft aber mußte dieß in der Art verhindern, daß in der Gegend, wo sie am stärksten ist, mehr Materie sich anhäufte, und ganz allmälig weniger bis zu den Stellen, wo die Schwungkraft Null ist, d. h. die Erde mußte in der Gleicherzone anschwellen und an den Polen sich abplatten. Unter dem vereinten Einfluß beider Kräfte mußte die flüssige Erde die Gestalt eines elliptischen Umdrehungskörpers (Revolutions-Ellipsoids) annehmen, d. h. während der Aequator und seine Parallelen sämmtlich vollkommene Kreise sind, sind die Meridiane Ellipsen, eine Art von regelmäßigen Ovalen, deren Durchmesser von einem größten, dem Aequatordurchmesser, bis zu einem kleinsten, dem Polardurchmesser oder der Erdaxe, stetig abnimmt. Ebenso nimmt ferner die Krümmung dieser Meridianellipsen von einer größten am Aequator bis zu einer kleinsten an den Polen stetig ab, und beide Abnahmen sind ebenmäßig längs allen Meridianen.

Da nun einer stärkeren Krümmung ein kleinerer, einer schwächeren ein größerer Kreis entspricht, und da einem und demselben Winkel, z. B. dem Winkel von einem Grad, in dem kleineren Kreis ein kleinerer Bogen entspricht, als in dem größeren, so ergibt sich daraus die Zunahme der Breitengrade oder der Meridiangrade vom Aequator zum Pol, d. h. die Breitengrade sind am kleinsten in der Nähe des Aequators, und nehmen von da stetig zu bis zu den Polen, wo sie am größten sind. Alles dieß hat man sich zu denken, wenn man von der Abplattung der Erde spricht, oder wenn man ihr die Gestalt eines elliptischen Rundkörpers zuschreibt, die sich aus der vereinten Wirkung von Schwere und Schwung auf die flüssige Erdmasse ergibt.

Daß dem aber wirklich so ist, das haben thatsächlich die Gradmessungen gezeigt, welche im vorigen und im laufenden Jahrhundert in verschiedenen Gegenden der Erdfläche, in den Tropen, den Polarländern und in zahlreichen Mittelgegenden zwischen Aequator und Pol angestellt worden sind. Sie haben aber auch gezeigt, daß die Abplattung der Erde oder die Abweichung ihrer Meridiane vom Kreis nicht sehr beträchtlich ist. Der Aequatordurchmesser übertrifft die Erdaxe nur um den dreihundertsten Theil seiner Länge oder um fast fünf und dreiviertel Meilen, und ein Aequatorort ist von der Erdmitte um die Hälfte, also gegen drei Meilen weiter entfernt, als der Pol, während die höchsten Berggipfel nur wenig über eine Meile weiter von der Erdmitte abstehen, als die Meeresfläche. Wie die Gradmessungen in hohem Grade mit einander in diesem Ergebniß übereinstimmen, so ist man auch auf anderen Wegen zu nahe gleichem Ergebniß gelangt, durch Pendelbeobachtungen an verschiedenen Orten der Erde und durch gewisse Ungleichheiten im Mondlauf, wovon seiner Zeit die Rede sein wird. Wenn aber auf der einen Seite hieraus hervorgeht, daß man in roheren Betrachtungen die Erde gar wohl als Kugel behandeln darf, ohne zu sehr von der Wahrheit abzuirren: so ist auf der anderen Seite die Uebereinstimmung der erwähnten Messungen doch nicht so groß, daß mit dem Rundellipsoid die Gestalt der Erde

vollkommen erschöpft wäre. Ehe wir aber von den zurückbleibenden Unregelmäßigkeiten handeln, müssen wir die weiteren Aufschlüsse verfolgen, welche die Abplattung der Erde über die Bildung des Erdkörpers gibt, denn die Gestalt der Erde hängt überhaupt mit der Vertheilung ihrer Masse um den Schwerpunkt zusammen.

Wir haben es zwar schon im ersten Abschnitt wahrscheinlich gefunden, daß bei der Ballung der flüssigen Erdmasse Schichten um den Schwerpunkt her sich bilden mußten, deren Dichte nach innen zunimmt. Allein dieß ist zunächst ein rein theoretischer Schluß aus den Gesetzen der Lagerung schwerer Flüssigkeiten und setzt jedenfalls voraus, daß die Erde aus verschiedenartigen flüssigen Stoffen bestand, während, so wahrscheinlich dieß ist, der andere Fall doch auch denkbar wäre, der Fall einer durchgängig nahezu gleichartigen Flüssigkeit, in welchem dann von keiner Schichtenlagerung die Rede sein könnte. Hierüber entscheidet nun thatsächlich der wirkliche Betrag der Abplattung, und liefert den erfahrungsmäßigen Beweis von der nach innen zunehmenden Dichte der Erdmasse. Die Mechanik zeigt nämlich, daß die Abplattung um so geringer sein muß, je mehr die Dichtigkeit des Kerns die der Oberfläche übertrifft; sie betrüge nur den 576sten Theil des Aequatordurchmessers, wenn die Kernbichte die des übrigen Körpers so zu sagen unendlich überträfe, dergestalt nämlich, daß die Richtung der Schwere trotz des Schwungs stets nach dem Mittelpunkt ginge. Im Gegentheil ist nach mechanischen Gesetzen die Abplattung um so größer, je geringer jener Unterschied der Dichte, sie beträgt den 230sten Theil des größten Durchmessers, wenn die Dichte der ganzen Masse gleichförmig wäre, und müßte noch größer sein, wenn die Dichte nach innen zu vielmehr abnähme, oder wenn die Erde gar eine Hohlkugel wäre. Da nun die wirkliche Abplattung in der That beträchtlich kleiner ist schon als diejenige, welche eine gleichförmig dichte Masse voraussetzt, so muß die Dichte nach innen zunehmen, geschweige denn daß die Erde hohl sein könnte. Es verlohnt sich, diesen Umstand nachdrücklich hervorzuheben, daß die Vorstellung von einem hohlen Erdinnern

durchaus unvereinbar ist mit der nunmehr gewonnenen Einsicht in die bei der Bildung der Erde wirksamen Kräfte. Die Physik läßt keinen Raum für eine Unterwelt, welche die Phantasie wohl schon mit einer eigenen organischen Welt, ja auch mit zwei kleinen unterirdisch kreisenden Planeten ausgestattet hat.

Da auf der andern Seite die wirkliche Abplattung der Erde viel größer ist, als sie in dem Fall sein könnte, wenn eine so große Verdichtung um den Mittelpunkt her stattfände, daß die Richtung der Schwere trotz der mit der Erdanziehung sich verbindenden Schwungkraft nach der Erdmitte gehen könnte, so folgt nicht nur, daß das letztere nicht stattfindet, d. h. daß die vereinte Wirkung der beiden Kräfte, welche nach den Sätzen über schwere Flüssigkeiten im ersten Abschnitt, stets zur Oberfläche rechtwinklig sein muß, nicht nach der Erdmitte gerichtet sein kann, sondern nach verschiedenen, übrigens von der letzteren nicht erheblich abweichenden Punkten, sondern es folgt auch, daß das Verhältniß der Kerndichtigkeit und der oberflächlichen Dichte gewisse Gränzen nicht übersteigen kann. Ja, wenn man überdieß eine ebenmäßige und stetige Zunahme der Dichte nach der Erdmitte voraussetzen, d. h. annehmen darf, daß jede folgende Erdschicht um ein Unmerkliches dichter als die vorhergehende sei, während jede für sich rund herum einerlei Dichte besitze: in dieser Voraussetzung läßt sich sogar das Dichtigkeitsverhältniß der äußersten und innersten Schicht, der Erdrinde und des Erdkerns, ermitteln. Es würde sich also aus der Abplattung sogar die Dichte des Erdkerns und die mittlere Dichte der Erde ergeben, da man die durchschnittliche Dichte der Erdrinde aus der Erfahrung kennt, wornach sie die des Wassers etwa $2^2/_3$mal übertrifft. Man findet aber von der genannten (zunächst unbewiesenen) Voraussetzung aus, daß die größte Dichte an der Erdmitte die kleinste an der Oberfläche über $4^1/_4$mal übertreffen muß, die mittlere aber fast $2^1/_8$mal, wornach letztere $5^2/_3$mal, erstere $11^1/_3$mal die des Wassers wäre. Nun besitzt man aber ganz unmittelbare Mittel, die mittlere Dichte der Erde erfahrungsmäßig zu bestimmen, wie wir im vierten Abschnitt sehen werden, und da deren Ergebniß mit demjenigen sehr übereinstimmt, wel-

ches unter jener Voraussetzung einer gleichmäßigen und stetigen Dichtigkeitszunahme aus der Abplattung sich ergibt, so folgt zugleich, daß diese Voraussetzung von der Wirklichkeit nicht erheblich abweichen kann, daß daher auch der Schwerpunkt mit der Erdmitte oder dem Mittelpunkt des Rundellipsoids nahezu zusammenfallen muß, und daß das Erdinnere keine Höhlungen enthalten kann, deren Größe mit derjenigen des ganzen Erdkörpers in Vergleich käme, welcher vielmehr als ein durchaus massiger Körper zu betrachten ist.

Ebenso gewiß ist es aber, daß die mehrfach bezeichnete regelmäßige Massenvertheilung und Dichtigkeitszunahme, sowie die rundellipsoidische Gestalt nur nahezu oder im Allgemeinen stattfindet, daß also diese Gestalt immerhin nur erst als eine zweite Näherung zu betrachten ist, gleichwie schon die Kugelgestalt entschieden eine erste Näherung ist. Denn die verschiedenen Gradmessungen stimmen nicht völlig überein, vielmehr ist ihr Hauptergebniß, daß man keine regelmäßige Figur der Erde angeben kann, welche allen diesen Messungen zugleich vollkommen Genüge leistete; selbst durch die schärfsten Beobachtungen wird nichts anderes erlangt, als daß man die Krümmung eines Stücks von einem unregelmäßigen Körper kennt. So spricht sich Bessel über den gegenwärtigen Stand der immer noch nicht abgeschlossenen Frage nach der wahren Gestalt der Erde aus, und derselbe große Astronom findet die Ursache dieser Unregelmäßigkeiten in der Figur in einer entsprechenden Unregelmäßigkeit der Massenvertheilung im Innern, eine Erkenntniß, welche somit die nächste Folge von jenem letzten Ergebniß der bisherigen Gradmessungen ist. Allein diese Unregelmäßigkeiten in Gestalt und Massenvertheilung sind noch viel unerheblicher und untergeordneter als die Abplattung, und überschreiten schwerlich den Rang der Unregelmäßigkeiten, welche die Vertheilung des Festlands an der Erdfläche selbst darbietet. Ja die Ursache jener Abweichungen mag wie die Ursache der Unregelmäßigkeiten an der Oberfläche in nichts anderem zu suchen sein, als in den erdbildenden Kräften und in den geologischen Umwälzungen, von denen im neunten Abschnitt die Rede sein wird. Bei

der Unebenheit oder Rauhigkeit der Oberfläche ist schlechterdings keine Aussicht auf eine Gesetzmäßigkeit da; ob es sich gleicherweise mit den bezeichneten Abweichungen der Grundgestalt selbst von der eines Rundellipsoids verhält, läßt sich noch fragen, sofern die Gradmessungen bis jetzt nur einen ziemlich kleinen Theil der Erdfläche umfassen. Wir wissen, daß die verschiedenen Erdmeridiane keineswegs vollkommen gleiche Ellipsen, sowie daß der Aequator und seine Parallelen keine vollkommenen Kreise sind, ja daß selbst die einzelnen Meridiane schwerlich in ihren verschiedenen Theilen, namentlich z. B. auf der nördlichen und südlichen Halbkugel, ebenmäßig sind; allein ob in diesen Abweichungen wieder eine Regelmäßigkeit stattfinde oder nicht, ob etwa z. B. der Aequator und seine Parallelen auch Ellipsen sind, weniger vom Kreis abweichend, als die Meridiane, solche Fragen müssen wir auf sich beruhen lassen.

Bei allen diesen Ungleichheiten in Gestalt und Massenvertheilung kann man noch fragen, ob sich dieselben in Beziehung auf die Erdmitte ausgleichen, ob also der geometrische Mittelpunkt mit dem Schwerpunkt zusammenfalle. Daß es jedenfalls nahezu der Fall ist, haben wir bereits bejaht mit der nahezu stattfindenden ebenmäßigen Massenvertheilung; allein wir haben auch störende Einflüsse kennen gelernt, welche es in Frage stellen, ob gedachtes Zusammenfallen vollkommen genau stattfindet, solche sind die großen geologischen Umwälzungen. An der Oberfläche selbst ist die Masse in der That ungleich vertheilt (Meer und Land, Hochland und Tiefland), indeß könnten diese Ungleichheiten wieder durch entgegengesetzte Ungleichheiten im Innern ausgeglichen sein. Ist aber der Schwerpunkt vom Mittelpunkt verschieden, so geht die Richtung der Schwere, d. h. schon die der Erdanziehung an sich, nicht genau nach der Mitte, und in Folge der Abplattung schon oder der ellipsoidischen Gestalt ist die Richtung der Schwere nicht genau rechtwinklig zur Oberfläche oder zum Horizont, vielmehr ist erst die vereinte Wirkung der Schwere und Schwungkraft eine senkrechte Kraft. Diese Abweichung wird in der That bei manchen Untersuchungen berücksichtigt, welche große Genauigkeit erheischen, sie ist aber sehr gering, so daß man

meistens davon Umgang nehmen kann; letzteres ist ohnedieß nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse geboten in Beziehung auf die etwaige Verschiedenheit des Schwerpunkts von der Erdmitte.

Die Schwungkraft hat längst aufgehört, auf die Gestaltung der Erde zu wirken, aber der Schwere wirkt sie noch stets entgegen und dieß, in Verbindung mit der Abplattung selbst, hat geographische Verschiedenheiten in der Größe der Schwerkraft zu Folge, die man durch das Pendel untersucht hat. Vermöge der Abplattung nimmt der Abstand der Erdfläche von der Erdmitte ab in der Richtung von dem Aequator zu den Polen, schon deßhalb muß also die Schwere in derselben Richtung zunehmen, gemäß dem früher erörterten Anziehungsgesetz. Ueberdieß aber vermindert die Schwungkraft die Schwere am meisten da, wo sie am größten ist und der Schwere am unmittelbarsten entgegenwirkt, d. h. am Aequator, und die Schwere erleidet daher in derselben Richtung den Polen zu einen immer kleineren Abzug durch die Schwungkraft. Aus beiden zusammen ergibt sich also die Zunahme der Schwere mit zunehmender (geographischer) Breite, und damit zugleich die Zunahme der Länge des Sekundenpendels, indem man die größere Beschleunigung der Schwere in höheren Breiten durch Verlängerung des Pendels nach den früher entwickelten Gesetzen ausgleichen kann. Auch die Unterschiede in der Schwere sind gering, doch merklich genug für das Pendel; das Sekundenpendel von Paris, welches also in einem Tag 86400 Schwingungen vollzieht, macht am Aequator ungefähr 129 Schwingungen weniger, eine darnach geregelte Uhr bliebe also in einem Tag um etwas über 2 Minuten zurück. In der That können die 3 Meilen der Abplattung die Anziehung der Erde nicht bedeutend ändern, und was die Schwungkraft betrifft, so ist diese am Aequator selbst, wo sie am größten ist, 289mal schwächer als die ebendaselbst stattfindende Anziehung der Erde, vermindert also diese oder die Schwere nur um $^1/_{289}$ ihres abgesehen von der Schwungkraft stattfindenden Betrags. Hätte die Erde eine größere Drehungsgeschwindigkeit, so wäre die Schwungkraft größer, und zwar, wie die Mechanik lehrt, in quadratischem Verhältniß; d. h. z. B. wenn die Erde im 17. Theil

von 24 Stunden oder in 1 Stunde und fast 25 Minuten ihre Axendrehung vollendete, so wäre die Schwungkraft am Aequator 17 . 17, d. h. 289mal größer als jetzt, mithin nach Obigem der Schwere gleich, Schwungkraft und Schwere würden dann am Aequator sich Gleichgewicht halten, vorausgesetzt, daß die Abplattung dieselbe geblieben wäre; die ungleich größere Schwungkraft hätte aber dann auch eine ungleich größere Abplattung, wo nicht die Zertrümmerung des Körpers zur Folge gehabt, welche jedenfalls bei noch größerer Drehungsgeschwindigkeit eintreten müßte. Man sieht aus diesen Betrachtungen, welche Veränderungen mit der Erde durch blose Steigerung ihrer Drehungsgeschwindigkeit vorgehen könnten, ja daß dadurch ohne Feuer und Wasser der jüngste (Erden-) Tag erzielbar wäre.

Haben wir im ersten Abschnitt die Ballung durch die Schwere als allgemeines Weltkörpergesetz erkannt, so dürfen wir auch nicht anstehen, die Axendrehung mit ihren Folgen, d. h. vor allem mit der ellipsoidischen Gestalt auf die anderen Weltkörper überzutragen. Die Beobachtung hat es bei Sonne und Mond und bei allen größeren Planeten nachgewiesen sammt merkwürdigen Verschiedenheiten von den Drehungsverhältnissen der Erde; wir behalten aber bezeichnende Einzelnheiten hierüber dem zweiten Buche vor.

Die Unveränderlichkeit und Gleichförmigkeit der irdischen Axendrehung machen dieselbe zur Grundlage der Zeitmessung. Denken wir uns ein Fernrohr unveränderlich aufgestellt, so daß in der Mitte des Gesichtsfelds ein Stern steht, so ist die Zeit, welche vergeht, bis dieser Stern wieder in der Mitte des Fernrohrs erscheint, genau der Zeitraum einer Axendrehung der Erde oder der Sterntag. Was nämlich auch die Sterne für Bewegungen haben mögen, so sind diese während eines so kurzen Zeitraums, ja während vieler Jahre, wegen der ungeheuren Entfernungen für uns unmerklich klein. Anders ist es mit den Wandelgestirnen, welche zwar ebenfalls an dem täglichen Kreislauf Theil nehmen, aber während desselben ihre Stellung unter den Fixsternen ändern. Für diese kann deßhalb die Zeit,

in welcher sie in den Meridian eines Orts zurückkehren, der Axendrehungszeit der Erde nicht gleich sein, namentlich dauert die Zeit von einer Sonnenkulmination zur andern, von einem Mittag zum andern, d. h. der Sonnentag gegen vier Minuten länger als der Sterntag. Da nun unsere Uhren nach der Sonne gehen müssen, so verwickelt sich dadurch die Zeitmessung, worauf wir im nächsten Abschnitt zurückkommen. Ebenso spiegelt sich die vollkommene Gleichförmigkeit der Axendrehung vollkommen nur in dem täglichen Fortrücken der Sterne ab. Denken wir uns ein Fernrohr parallel der Axe aufgestellt, so daß der scheinbare Himmelspol die Mitte desselben einnimmt und daß der Polarstern innerhalb des Gesichtsfelds seinen kleinen scheinbaren Kreis vollendet; denken wir uns ferner dieses Gesichtsfeld von seiner Mitte aus durch feine Fäden etwa in 24 gleiche Theile getheit, so haben wir die vollkommenste Uhr für Sternzeit; die Zeit, welche der Polarstern von einem der Fäden zum andern braucht, ist stets dieselbe, eine Stunde Sternzeit.

Wie die Unveränderlichkeit des Zeitraums, so ist auch die Unveränderlichkeit der Axe innerhalb des Erdkörpers eine bezeichnende Eigenschaft seiner freien Axendrehung. Die Pole, sowie der Aequator nehmen stets dieselben Stellen auf der Erdfläche ein. Die geographischen Breiten bleiben unveränderlich. Dieß verstände sich wohl bei einer Drehung um eine feste Axe von selbst, keineswegs aber bei einer Drehung um eine freie Axe. Auch zeigt die Mechanik, daß diese Erhaltung der Axe, welche der freien Axendrehung der Erde den Anschein gibt, wie wenn diese an einer festen Axe steckte, und in Folge davon die sich gleichbleibende Drehungsgeschwindigkeit voraussetzt, daß die Axe eine Hauptaxe oder Massenaxe sei, d. h. nicht nur durch den Schwerpunkt (Massenmittelpunkt) gehe, sondern auch in ihrer ganzen Ausdehnung eine ebenmäßige Lage im Innern des Körpers habe, vermöge der die Massentheilchen desselben nach Richtungen rechtwinklig zur Axe gleichmäßig vertheilt sind, dergestalt, daß sie vermöge der Schwungkräfte der Theilchen von allen Seiten gleich stark gedrückt wird oder keinen einseitigen Druck erleidet. Eine solche Hauptaxe oder

natürliche Drehaxe ist bei einer Kugel mit gleichmäßigen concentrischen Schichten jeder Durchmesser, bei einem Rundellipsoid aber jeder Durchmesser des Aequators, aber auch der kleinste Durchmesser, und weßhalb letzterer die Drehaxe der Erde werden mußte, haben wir bereits gesehen.

Die Erdaxe geht aber als natürliche Drehaxe (Massenaxe) nicht nur stets durch dieselben Punkte des Erdkörpers, sondern sie bleibt sich auch wenigstens für lange Zeiträume merklich parallel, sie erhält sich mit dem ganzen Erdkörper in derselben Lage, vermöge deren sie eben seit langer Zeit nahezu nach dem Polarstern hin gerichtet ist. Wir dürfen zwar schon hier nicht verhehlen, daß dieß nur nahezu der Fall ist, und daß die Richtung der Erdaxe im Weltraum ganz allmählig und sehr langsam sich ändert, so daß die Aenderung erst nach langen Zeiträumen dem blosen Anblick des Himmels merklich wird. In der That spielte der gegenwärtige Polarstern diese Rolle nicht zur Zeit der alexandrinischen Astronomen, und wird auch wiederum im Verlauf der Jahrhunderte anderen Nordsternen seine Stelle einräumen. Wie dem auch sei, so erhebt sich hier die Frage: wie kommt es, daß die freie Axe während so langer Zeiträume sich merklich in derselben Richtung erhielt? Es ist der Schwung der Masse selbst oder der vereinte Druck aller einzelnen Schwungkräfte, welcher die Richtung der Axe erhält; je größer die Drehungsgeschwindigkeit und je größer die Masse des Körpers, desto größer ist der Schwung, desto dauerhafter ist auch die Axendrehung selbst. Wir erinnern nur an die allbekannte Erscheinung des Kreisels, dessen Drehung um seine senkrechte Axe wenigstens eine halbfreie ist, halbfrei, weil er bei seiner Bewegung auf einer festen Ebene steht. Was anders erhält die Spindel aufrecht, als der Schwung der Axendrehung, der Kreisel klappt um, sowie die Drehung aufhört, er erhält sich im Gegentheil um so länger vollkommen senkrecht, je größer die Drehungsgeschwindigkeit, und je größer die gleichmäßig um die Spindel vertheilte Masse ist. Besteht er z. B. aus einer schweren Bleischeibe an einer eisernen Spindel, so kann er bei seiner Axendrehung sogar Stöße aushalten, ohne eine andere Störung zu erfahren,

als daß die Axe, anstatt vollkommen senkrecht sich zu halten, selbst eine kögelförmige Bewegung um die senkrechte Richtung annimmt. Dasselbe findet von Anfang an statt, wenn die Masse der gedachten Bleischeibe nicht gleichförmig um die Spindel des Kreisels vertheilt, sondern wenn nach einer Seite hin ein (verhältnißmäßig nicht zu großes) Uebergewicht vorhanden wäre. Etwas der Art findet nun in der That auch bei der Erde statt, obgleich ihre Drehaxe von der Massenaxe kaum merklich verschieden sein kann (in keinem höheren Maß als der Mittelpunkt vom Schwerpunkt), und wir werden später die Ursache der Störung erfahren und zugleich diese selbst näher kennen lernen, die wir eben nur nothdürftig andeuten mußten. Das merkliche Parallelbleiben der Erdaxe aber während kleinerer Zeiträume ist für den nächsten Abschnitt von Wichtigkeit.

Fragt man endlich nach der Entstehung der Axendrehung der Erde, so kann man zwar auf der einen Seite an die Art erinnern, wie wir Körper, sei es mit festen Axen, wie z. B. Mühlräder, oder halbfreie Körper, z. B. Kreisel und Billardkugeln in Axendrehung versetzen. Bei jenen reicht jeder nicht durch die feste Axe gehende Stoß dazu hin, bei freien Körpern aber bringt jeder Anstoß, welcher nicht durch den Schwerpunkt geht, eine Drehung um denselben zugleich mit einer fortschreitenden Bewegung des Körpers hervor; und wenn bei halbfreien Körpern auf einer festen Ebene selbst schon in Folge eines centralen Stoßes Axendrehung entsteht, so ist hier die Reibung im Spiel. Allein auf der andern Seite darf man wohl hievon keine so unmittelbare Anwendung auf die Erde, sowie auf die übrigen Weltkörper machen, vielmehr muß man gestehen, daß die Entstehung der Axendrehungen mit der Entstehung der Körper selbst zusammenhängen muß, und daß man hierüber wenig Sicheres sagen kann, außer dem, was wir bereits über den Zusammenhang von Axendrehung und Gestaltung vermöge des ursprünglichen flüssigen Zustandes gesagt haben, wobei aber die Axendrehung als schon vorhanden vorausgesetzt war. Zugleich weist die Axendrehung der Erde, als die eines freien Körpers, wie immer dieselbe entstanden sein mag, auch auf eine

fortschreitende Bewegung im Raum hin, zwei Bewegungen, welche ohne Zweifel mit einander entstanden sind, und deren Verbindung am meisten an die rollende Bewegung eines halbfreien Körpers erinnert.

Die Bedingungen der unveränderlichen Erhaltung dieser Bewegung aber sind einmal das schon besprochene Zusammenfallen der Drehaxe mit einer Massenaxe, alsdann die Unveränderlichkeit der Größe des Erdkörpers. So lange die Axe und die Größe dieselbe bleibt, bleibt auch die Geschwindigkeit nothwendig sich gleich, und da es erwiesen ist, daß der Sterntag seit den frühesten geschichtlichen Nachrichten sich um keine Hundertstelssekunde geändert hat, so muß wohl beides wenigstens seitdem unverändert geblieben sein. Daß aber die natürliche Drehaxe als solche sich erhalten hat, setzt voraus, daß seitdem die Massenvertheilung keine beträchtliche Aenderung, nämlich im Verhältniß zur Masse des Ganzen, erlitten hat, denn bei anderer Massenvertheilung muß sich auch die Massenaxe ändern, und damit die Drehaxe. In der That sind nun manche Einflüsse und Hergänge vorhanden, von welchen man Aenderungen in den genannten Umständen erwarten könnte; was aber kosmische Einflüsse betrifft, so werden diese im vierten, geologische dagegen werden im neunten Abschnitt, zur Sprache kommen, mit welchem der vorliegende überhaupt so manche Berührungspunkte darbietet.

III.

Die Erde in fortschreitender Bewegung als Planet des Sonnensystems.

Wir fahren fort uns im Weltall zurechtzufinden mit der dritten Grunderscheinung, mit dem jährlichen Kreislauf, den die Sonne uns darbietet. Wir haben bereits eingesehen, daß sämmtliche Wandelgestirne, und so insbesondere die Sonne nicht auf dieselbe Weise an dem täglichen Kreislauf theilnehmen, wie die Fixsterne, zu denen sie von Tag zu Tag ihre Stellung verändern. Verfolgen wir dieß nun bei der Sonne, um ihre scheinbar eigene Bewegung kennen zu lernen, so haben wir zwei Hauptumstände hervorzuheben. Der eine ist die Verspätung der Sonne gegen die Sterne bei dem täglichen Kreislauf. Ein Fixstern, welcher etwa gestern um Mitternacht kulminirte, erscheint heute gegen vier Minuten bälder im Meridian, morgen wieder um so viel bälder u. s. w., bis er nach 365 Sonnentagen wieder um Mitternacht kulminirt und in dieser Zeit einmal öfters, nämlich 366 mal, kulminirt hat als die Sonne. Es ist also gerade so, wie wenn die Sonne während jeden Tags um ungefähr vier Minuten Zeit ostwärts gegen die Sterne zurückbliebe, oder sich in der Richtung West-Ost täglich fast um einen Grad fortbewegte, so daß sie in der Zeit von etwas über 366 Axendrehungen der Erde (Sterntagen) einen vollen Umlauf am Himmel vollendet, in welcher Zeit sie selbst nur 365 mal auf- und untergegangen ist. Daher ändert sich überhaupt der Anblick des Himmels in der Mittelzone der auf- und untergehenden Sterne allmälig gänzlich, so daß nach einem halben Jahr durchaus andere Sternbilder den mitternächtlichen

Himmel einnehmen, diejenigen nämlich, welche vor Ablauf dieser Zeit um Mittag über dem Horizont gestanden hatten, überstrahlt von der Sonne, (und umgekehrt), nach einem ganzen Jahr aber der ursprüngliche Himmelsstand zurückkehrt.

Das andere ist die Veränderung des Standes der Sonne gegen den Aequator. Während der Fixstern über demselben parellel senkrecht bleibt, in denselben Punkten des Horizonts auf- und untergeht, dieselbe Höhe über dem Horizont erreicht und gleichlang über dem Horizont verweilt (was alles wenigstens für sehr lange Zeiträume sich gleichbleibt): ändert sich das Alles bei der Sonne schon von einem Tag zum andern, indem sie (wie die übrigen Wandelgestirne) vom Aequator nach beiden Seiten bis zu einem Größten abweicht und darnach die Zeit ihres Verweilens sowie ihre Höhe über dem Horizont eines Erdorts beständig ändert. In diesem stetigen jährlichen Wechsel der Tageslängen und der Mittagshöhen der Sonne, auf denen wieder die verschiedene Wärme der Sonnenstrahlen beruht, stellen sich vier Hauptstände der Sonne heraus, welche die sogenannten astronomischen Jahreszeiten bestimmen, die Jedermann aus dem Kalender kennt. Zweimal nämlich im Jahr steht die Sonne senkrecht über dem Aequator, womit die allgemeine Tag- und Nachtgleiche auf der ganzen Erde verbunden ist, sonst, in der einen Hälfte des Jahrs nördlich vom Aequator bis zu einer größten nördlichen Abweichung von 23½ Grad, in der andern Hälfte südlich vom Aequator bis zu einer ebenso großen südlichen Abweichung; dieß sind die beiden Sonnenwenden, wo die Sonne über den Wendekreisen senkrecht steht, um sofort zum Aequator umzukehren, und womit der höchste Sonnenstand und die längste Tagesdauer beziehungsweise auf der nördlichen und auf der südlichen Halbkugel verknüpft ist. Die Sonne macht also ihren jährlichen Umlauf innerhalb einer Zone des Himmels von 47 Grad Breite zwischen den beiden Wendekreisen, mitten vom Aequator durchschnitten. Da ferner in gleichen Zeiten vor und nach den Sonnenwenden gleicher Sonnenstand stattfindet, da auf beiden Seiten des Aequators jene Erscheinungen regelmäßig sich entsprechen, so erfolgt

die jährliche westöstliche Bewegung der Sonne nicht etwa im Zickzack, sondern in einer Ebene, welche die des Aequators schief, unter jenem Winkel von 23½ Grad, durchschneidet (die Ekliptik und ihre Schiefe). Da aber endlich die Zeiträume zwischen jenen vier Hauptständen der Sonne nicht vollkommen gleich sind, so ist der Kreislauf der Sonne in der Ekliptik nicht gleichförmig, übrigens ist die Ungleichheit nicht sehr beträchtlich.

Bekanntlich müssen wir auch diese Bewegung, die jährliche der Sonne um die Erde, für Schein erklären und an ihre Stelle vielmehr die der Erde um die Sonne setzen; um aber eine klare Einsicht in dieses „Kopernikanische Weltsystem" zu bekommen, müssen wir erst noch einen flüchtigen Blick auf die übrigen Wandelgestirne werfen. Erweitern wir die Zone, innerhalb deren die Sonne ihren Jahreslauf regelmäßig zu vollziehen scheint, noch um einige Grade nach Norden und Süden, so haben wir die Zone des Himmels vor uns, in welcher sich auch der Mond und die Planeten beständig aufhalten, es ist die Thierkreiszone des Himmels mit ihren zwölf Sternbildern. Aber nur die Bewegung des Mondes nimmt sich ebenso regelmäßig wie die der Sonne aus, indem wir ihn stetig, in einerlei Richtung und in einerlei Ebene in dem viel kürzeren monatlichen Zeitraum (in 27½ Tagen) um die Erde sich bewegen sehen und auch keinen Anstand nehmen ihm diese Bewegung wirklich zuzuschreiben, weil sonst, d. h. wenn vielmehr die Erde es wäre, die den Mond in obiger Weise umwandelte, die Bewegung der Sonne nicht die oben geschilderten Regelmäßigkeiten, wenigstens nicht in dem Grade, darbieten könnte. Ganz anders aber verhält es sich mit den Planeten. Der Lauf eines Planeten erscheint von der Erde aus sehr verwickelt, er erfolgt weder in einer Ebene noch in einerlei Sinn, er bietet vielmehr Knoten und Schlingen, Stillstände und Rückgänge dar. Nachdem er eine Zeit lang wie die Sonne in westöstlicher Richtung sich bewegt hat, scheint er einige Tage völlig still zu stehen und weiterhin sogar die geradezu entgegengesetzte Richtung einzuschlagen, von welcher aus er nach einem neuen Stillstand wieder rechtläufig wird. Was anderes folgt hieraus, als daß die Bewegung dieser

Weltkörper nicht um die Erde erfolgt? Man konnte sich auch jene Unregelmäßigkeiten in dem alten „Ptolemäischen System,“ welches alle Weltkörper um die ruhende Erde sich bewegen ließ, nur dadurch erklären, daß man annahm, der Planet bewege sich zunächst um ein Nichts von einem geometrischen Punkt, und dieses Nichts bewege sich dann erst um die Erde; eine Annahme, deren Ungereimtheit heutzutage Jedermann klar ist. Nun richten sich aber jene Erscheinungen im Planetenlauf nach dem beziehungsweisen Stand des Planeten zur Sonne, und wenn man sich den Lauf desselben, so wie er von der Sonne aus erscheint, verzeichnet, so ist er jedesmal in einer Ebene enthalten und erfolgt in einerlei Richtung von West nach Ost, d. h. er bietet dieselbe Regelmäßigkeit dar, wie der Lauf von Sonne und Mond von der Erde aus gesehen, zum deutlichen Beweis dafür, daß die Sonne der wahre Mittelpunkt der Planetenbahnen ist.

Auch besteht in dieser Annahme, so aber, daß sofort die Sonne, mit allen Planeten als ihren Trabanten, um die Erde umlaufen soll, das Tychonische Weltsystem, und ein Theil desselben war schon in dem sogenannten alten ägyptischen System enthalten, welches wenigstens die beiden untern Planeten zu Trabanten der Sonne machte. In der That ist bei Merkur und Venus, welche der Sonne näher stehen als die Erde, dieses Trabantenverhältniß zur Sonne besonders augenfällig. Wenn man nämlich den Trabanten eines entfernten Weltkörpers daran erkennt, daß er bald rechts bald links von demselben steht, so ist dieß auch bei jenen Planeten der Fall, welche sich östlich und westlich nur bis zu einer gewissen Gränze von der Sonne entfernen, ihr stets als Abendsterne folgen oder als Morgensterne vorangehen (größte westliche und östliche Ausweichung, oberer und unterer Zusammenschein). Die oberen Planeten aber, deren Bahnen Erde und Sonne zumal umgeben, kommen wie der Mond in alle möglichen Stellungen zu Erde und Sonne, auch in Gegenschein (die beiden Viertel, Zusammenschein und Gegenschein); hier ist also das Trabantenverhältniß zur Sonne weniger augenfällig, und um so weniger, in

je weiteren Bögen sie die Sonne und die Erde zugleich umkreissen. So hatte also dieses altägyptische Planetensystem fünf Bahnen um die Erde, den Mond, die Sonne mit ihren beiden Trabanten, Mars, Jupiter, Saturn; das Tychonische dagegen nur zwei, den Mond und die Sonne mit ihren fünf Trabanten. Das Ptolemäische oder alexandrinische (auch schlechtweg das alte Weltsystem genannt) hatte sieben Bahnen um die Erde, war aber mit der Anordnung von dreien derselben (Sonne, Venus und Merkur) in Verlegenheit, die es willkührlich mittelst der Dauer der Umlaufzeiten dahin entschied, daß die Bahnen in der Reihe Mond, Merkur, Venus, Sonne u. s. w. sich folgen sollten; eine Schwierigkeit, welche derjenigen mit den Stillständen und Rückgängen würdig zur Seite steht. Das Kopernikanische Planetensystem endlich (das neue Weltsystem schlechtweg) hatte anfangs sechs (jetzt neun oder sechzehn, je nachdem man die kleinen Planeten einzeln oder als Körperschaft zählt) Bahnen um die Sonne, deren dritte der „neuentdeckte Planet Erde" einzunehmen hatte.

Ohne wiederum in den ganzen Streit einzugehen zwischen dem Kopernikanischen und Tychonischen System — denn nur von diesen konnte noch die Rede sein, nachdem Kopernikus mit so siegreicher Klarheit das Trabantenverhältniß sämmtlicher alten Planeten zur Sonne nachgewiesen — stellen wir gleichwohl die Hauptpunkte dem Leser zur Uebersicht hin. Zuerst handelt es sich darum, daß die oben geschilderten Erscheinungen des jährlichen Kreislaufs eben so gut sich erklären, wenn vielmehr die Erde es ist, welche in der Ekliptik die Sonne in derselben westöstlichen Richtung jährlich mit ungleicher Geschwindigkeit umwandelt, wobei ihre unter einem Winkel von 66½ Grad gegen die Bahn geneigte Drehaxe merklich sich parallel bleibt (was wir bereits als Thatsache kennen. In der That wird der Beobachter auf der die Sonne umwandelnden Erde die Sonne stets in dasjenige Sternbild des Thierkreises an der scheinbaren Himmelskugel versetzen, welches dem Standpunkt der Erde gerade (diametral) gegenüber liegt, daher das scheinbare Fortrücken der Sonne unter den Sternen in derselben Richtung (West-Ost), in welcher

sich der Beobachter bewegt, und die allmälige Veränderung des mitternächtlichen Himmels. In den Stillständen und Rückgängen der Planeten ferner sieht die Erde ebenfalls nur ihre eigene Bewegung; wenn nämlich die Erde dem Planeten in der allgemeinen westöstlichen Richtung voraneilt, so scheint dieser nach der entgegengesetzten Richtung sich zu bewegen, und zwischen das Nach- und Voraneilen fällt ein scheinbarer Stillstand des Planeten. Da endlich die Erdaxe während eines Jahrs nicht nur ihre Neigung gegen die Erdbahn, sondern auch ihre Richtung im Weltraum so ziemlich beibehält (stets dem Polarstern mit ihrem Nordende zugekehrt), so wird bei dem Umlauf um die Sonne in der einen Hälfte des Jahrs ihr Nordende, in der andern ihr Südende der Sonne zugewendet sein, im ersten Fall steht diese senkrecht über der nördlichen, im zweiten über der südlichen Halbkugel; dazwischen hinein wird zweimal der Winkel der Sonnenstrahlen mit der Erdaxe ein rechter sein, so daß keiner der beiden Pole mehr als der andere der Sonne sich zukehrt, dann steht die Sonne senkrecht über dem Aequator; ist dagegen der Winkel der Sonnenstrahlen mit der Erdaxe möglichst spitz nach Norden zu, (d. h. 66½ Grad), so steht die Sonne über dem nördlichen, ist er möglichst spitz (d. h. 66½ Grad) nach Süden, so steht sie über dem südlichen Wendekreis senkrecht.

Die hohe Wahrscheinlichkeit auch einer fortschreitenden Bewegung des frei schwebenden und in Axendrehung begriffenen Erdkörpers hat sich uns bereits herausgestellt; allein eben so wahrscheinlich ist auch die fortschreitende Bewegung der Sonne, und wir werden weiterhin von dem Vorhandensein einer solchen uns überzeugen. Diejenige Bewegung aber, auf welcher der jährliche Kreislauf beruht, schreiben wir der Erde zu, weil ein Umlauf der Sonne um die Erde im höchsten Grad unwahrschinlich ist. In der That, wie wir es als völlig ungereimt im alten Weltsystem gefunden haben, daß Weltkörper um stofflose Punkte und diese um Weltkörper sich bewegen sollten, weßhalb wir in der Sonne den Mittelpunkt der Planetenbewegung erkennen mußten: so muß es uns auch im höchsten Grad unwahr-

scheinlich sein, daß um die Erde ein dreizehnhunderttausendmal größerer Körper mit einem zahlreichen Gefolge von Trabanten sich bewegen sollte, von welchen mehrere wieder ihre Trabanten haben. Ja es muß uns als widersinnig auffallen, wenn mehrere erdähnliche Weltkörper, die Planeten, um die Sonne sich bewegten, einen Körper, der zu den übrigen in dem gemeinschaftlichen Gegensatz einer unvergleichbaren Größe, einer mächtigen Licht- und Wärme-Entwicklung steht, und wenn dann dieser wieder sammt den Planeten um einen Körper von der Art der letzteren umliefe. Wahrhaftig eine Verfassung, wie wenn etwa Hannover, Sachsen, Baiern u. s. w. Preußen unterthan wären, dieses aber mit allen jenen an Braunschweig Tribut bezahlte! Nein, die beiden Sätze „die Planeten sind Erden" und „die Erde ist ein Planet," fordern einander mit Entschiedenheit; bewegen sich die Planeten um die Sonne, so thut es auch die Erde als der dritte unter den Planeten.

Die einzige gewichtige Einwendung, welche gegen den Umlauf der Erde um die Sonne erhoben worden ist, war die, daß die Veränderung des Standpunkts um den Durchmesser der Erdbahn, d. h. um mehr als 41 Millionen Meilen, an den Fixsternen sich nicht bemerklich mache, daß der Umlauf der Erde sich nicht an scheinbaren jährlichen Bewegungen sämmtlicher Sterne abspiegle, oder wie man es ganz kurz auszudrücken pflegt, daß die Fixsterne keine Jahresparallaxe zeigen. Blicken wir nur auf die Erscheinung der täglichen Verspätung der Sonne gegen die Fixsterne zurück. Wir erklären dieß nunmehr so, daß die Sonne nach einer vollbrachten Axendrehung der Erde deßwegen nicht wieder im Meridian eines Erdorts stehen kann, weil die Erde in dieser Zeit ungefähr 300000 Meilen im Raume fortgerückt ist, weil folglich der Meridian jenes Erdorts noch etwas weiter sich drehen muß, um wieder durch die Sonne zu gehen. Alle Sterne kehren dagegen Jahr aus Jahr ein genau nach derselben Zeit zum Meridian zurück, weßhalb wir eben im Sterntag das genaue Maß der Drehungszeit fanden, gerade so wie wenn die Erde an ihrer Stelle bliebe. Jene Hunderttausende von Meilen, ja jene 41 Millionen müßten also fast so gut wie nichts

sein gegen die Entfernung der Fixsterne, wenn die Erde um die Sonne sich bewegt, und was wir im ersten Abschnitt von dem Erdball aussagen mußten, müßten wir jetzt sogar von dem im Durchmesser 24000mal größeren Raum der Erdbahn behaupten, daß auch dieser gegen die Entfernungen der Sterne wenigstens sehr nahezu zum Punkt zusammenschrumpfe. Wir lassen uns durch den Gedanken dieser ungeheuren Entfernungen so wenig als Kopernikus einschüchtern, vielmehr sehen wir hierin nur eine weitere Belehrung über das Weltall, welche die Einsicht in den Umlauf der Erde um die Sonne mit sich bringt, indem diese uns nöthigt, „unsern Maßstab für die Entfernungen der Sterne ums Myriadenfache zu vergrößern." Es ist in der That so, daß die Linien, welche von den Standpunkten der Erde im Januar und im Juli auch an den nächsten Fixstern gezogen werden, einen Winkel mit einander einschließen von einer Kleinheit, welche der unmittelbaren Messung auch heutzutage noch unzugänglich ist, dergestalt, daß auch der nächste Fixstern über 100000 Erdbahndurchmesser von der Erde entfernt sein muß. Wir können dieß heutzutage um so zuversichtlicher behaupten, als endlich in neuester Zeit durch künstliche Mittel wirklich einige Fixsternparallaxen ermittelt worden sind, welche jene Ansicht von den Entfernungen so wie den Umlauf der Erde um die Sonne thatsächlich bestätigen, nachdem man schon früher im vergeblichen Suchen der Jahresparallaxe anderweitige Erscheinungen kennen gelernt hatte, in denen sich die jährliche Bewegung der Erde gleichsam am Himmel abzeichnet. Wir behalten aber das Nähere hierüber d. h. über die Aberration der Fixsterne, sowie über die nunmehr gemessenen Sternweiten der Naturgeschichte des Himmels vor.

Durch die Stellung der Erdaxe gegen die Ebene ihrer Bahn um die Sonne sind zwei bedeutsame Parallelkreise zu beiden Seiten des Aequators festgesetzt, über welchen die Sonne bei ihrem nördlichsten und südlichsten Stande senkrecht steht, die Wendekreise in der geographischen Breite von $23^1/_2$ Grad. Deßgleichen werden zwei andere Parallelkreise bedeutsam, diejenigen nämlich, welche eben so weit von den beiden

Polen abstehen, mithin 66½ Grad zur geographischen Breite haben, die beiden Polarkreise. Durch diese Kreise zerfällt jede der beiden Halbkugeln, die nördliche wie die südliche, in drei Zonen, welche sich im Sonnenstand, d. h. in der Schiefheit der Sonnenstrahlen und in der Dauer des Tags, sowie in den davon abhängigen Erwärmungs- und Beleuchtungsverhältnissen kennzeichnend von einander unterscheiden, die Tropenzone, die Mittelzone und die Polarzone, so daß die Tropenzonen der beiden Halbkugeln im Aequator zusammengränzen. Man kann ihre bezeichnenden Unterschiede kurz so aussprechen, daß zeitweise die Sonne in der Tropenzone ein Scheitelgestirn, in der Polarzone ein Circumpolargestirn wird, in der Mittelzone aber keines von beiden stattfindet. In jedem Ort der Tropenzonen nämlich findet zweimal im Jahr senkrechter Mittagsstand der Sonne statt; die beiden senkrechten Stände liegen am Aequator selbst ein halbes Jahr auseinander, in den übrigen Orten fallen beide ins Sommerhalbjahr gleich lange vor und nach der Sonnenwende, durch einen längeren oder kürzeren Zeitraum von einander getrennt, je nachdem sich der Ort dem Aequator näher oder entfernter befindet, bis an den Wendekreisen selbst beide Scheitelstände so zu sagen in einen einzigen um die Zeit der Sonnenwende zusammenfallen. In der Zwischenzeit zwischen den beiden Scheitelständen vor und nach der Sonnenwende steht die Sonne für den Tropenort dem Pol zu, so daß z. B. ein Tropenort der nördlichen Halbkugel seinen Mittagsschatten nach Süden wirft, während im übrigen Theil des Jahrs der Nordschatten herrscht, wie in Deutschland immer. In jedem Ort der Polarzonen dagegen gibt es zwei entgegengesetzte Zeiträume im Jahr um die beiden Sonnenwenden, dergestalt, daß die Sonne in dem einen, um die Sommersonnenwende, die Rolle eines stets sichtbaren, in dem andern, um die Wintersonnenwende, eben so lang die Rolle eines stets unsichtbaren Circumpolarsterns spielt, d. h. in jenem mehr als 24 Stunden über, in diesem eben so lang unter dem Horizont bleibt, und daß so der Tag- und Nachtwechsel eine Zeit lang aufgehoben ist. In den Zwischenzeiten dagegen, also vor und nach der allgemeinen Tag- und Nacht-

gleiche, an der auch die Polarorte theilnehmen, geht die Sonne wie bei uns alle 24 Stunden auf und unter, und jene beiden Zeiträume, deren Mitte stets die Sonnenwenden bezeichnen, dauern um so länger, je näher der Ort dem Pol sich befindet, bis an diesem die Zwischenzeiten des Auf- und Untergangs verschwinden, so daß die Sonne in der einen Hälfte des Jahrs, wo sie nördlich vom Aequator steht, stets über, in der andern, wo sie südlich vom Aequator steht, stets unter dem Horizont des Nordpols verweilt, an den Tagen der Nachtgleichen selbst aber ebenfalls 12 Stunden oben, 12 Stunden unten sich befindet. Freilich ist bei dieser Darstellung der Polarhergänge keine Rücksicht auf die Umstände genommen, welche, wie vor allem die atmosphärische Strahlenbrechung, eine bedeutende Verlängerung des Tages bewirken; wir werden übrigens erst in der Lehre von der Atmosphäre auf diese Einflüsse, sowie auf die Erleuchtung und Erwärmung der Erde durch die Sonne weiter zu sprechen kommen. Man kann auch sagen, daß die Sonnenkulmination zeitweise in der Tropenzone jenseits des Zeniths, in der Polarzone aber unterhalb des Horizonts stattfinde. Endlich kann man über den Wechsel der Tagesdauer den allgemeinen Satz aussprechen, daß der Unterschied zwischen dem längsten und kürzesten Tag mit wachsender Breite bis zu den Polarkreisen stetig zunimmt, so daß derselbe am Aequator null ist und von da bis zu den Polarkreisen weniger als 24 Stunden beträgt, daß alsdann hier die Stetigkeit aufhört, indem der längste Tag plötzlich mehr als 24 Stunden (bis zu einem halben Jahr an den Polen) betragen würde, so daß in der Polarzone eigentlich nicht von einem längsten und kürzesten Tag die Rede sein kann.

So beruht also der Jahreszeitenwechsel an jedem einzelnen Ort der Erde sowie die Verschiedenheit im Sonnenstand nach der geographischen Breite auf der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn (auf der Schiefe der Ekliptik), und zwar gerade auf diesem Betrag von 23½ Grad, oder von nahezu dem vierten Theil von 90 Grad. Es ist leicht abzusehen, was für Verhältnisse sich bei anderen Schiefen ergeben würden. Bei einer kleineren Schiefe werden Tropen- und Polarzonen schmäler,

die Mittelzonen aber breiter, die jährlichen Unterschiede im Sonnenstand endlich an jedem einzelnen Erdort kleiner; und gehen wir zum Aeußersten fort, d. h. zum Verschwinden der Schiefe, so daß die Erdaxe mit der Erdbahn einen rechten Winkel macht, so schrumpft die Tropenzone zum Aequator zusammen mit stets senkrechtem Sonnenstand, die Polarzone auf die Pole, welche beide die Sonne stets im Horizont hätten, die ganze übrige Erde wäre Mittelzone und der Jahreszeitenwechsel wäre nirgends vorhanden. Bei einer größeren Schiefe dagegen werden die Tropen- und die Polarzonen breiter, die Mittelzonen schmäler, die Unterschiede der Jahreszeiten in jeder einzelnen Breite größer, dergestalt daß bei einem Betrag von 45 Grad die Mittelzone verschwände und die Polarzone mit der Tropenzone unmittelbar zusammengränzte. Bei einer noch größeren Schiefe würden die beiden Zonen übergreifen, so daß es wieder eine mittlere Zone gäbe, welche in der einen Hälfte des Jahrs die Rolle der Tropenzone, in der anderen die der Polarzone spielte, während unsere Mittelzone die Eigenschaft hat, daß ihr die Eigenthümlichkeiten der einen wie der anderen beständig abgehen. Wäre insbesondere die Schiefe gerade um 23½ Grad stärker, als 45°, so hätte jene Mittelzone des Uebergreifens dieselbe Breite, wie unsere wirkliche Mittelzone; und gehen wir auch hier zum Aeußersten fort, d. h. zu einer Schiefe von 90 Grad, so daß die Erdaxe in der Erdbahn läge, so wäre die ganze Erde in der einen Jahreshälfte Tropenzone, in der andern Hälfte Polarzone, d. h. jedem einzelnen Erdort kämen die Eigenthümlichkeiten beider Zonen zugleich zu. Hieraus ist zugleich zu ermessen, was für Veränderungen auf der Erde sich ergeben, wenn die Schiefe der Ekliptik sich ändert. Dieß ist auch in der That der Fall, aber ohne je an jene Außersten zu gelangen, was wir im nächsten Abschnitte zugleich mit der Ursache erfahren werden.

Wir haben bereits gesehen, daß die Bewegung der Erde um die Sonne nicht gleichförmig ist, wie ihre Axendrehung; unser Sommerhalbjahr (d. h. die Zeit von Frühlings Anfang bis Herbstes Anfang) dauert länger als das Winterhalbjahr (d. h. die Zeit von Herbstes Anfang bis Frühlings Anfang),

weil die Erde in jenem langsamer sich bewegt, als in diesem. Die Sonnentage können daher auch nicht gleich lange dauern; sie sind länger, wenn die Erde schneller sich bewegt, also im Winter, kürzer, wenn die Erde langsamer sich bewegt, also im Sommer. Dieß folgt in der That unmittelbar aus der obigen Erklärung darüber, daß der Sonnentag länger dauert als der Sterntag oder die Axendrehung der Erde. Wir haben gesehen, daß wegen des Fortrückens der Erde der Meridian eines Orts sich noch etwas über eine volle Umdrehung fortdrehen muß, um wieder durch die Sonne zu gehen, die hiezu erforderliche Zeit muß also größer sein, wenn das tägliche Fortrücken der Erde größer ist, d. h. wenn sie ihre größere Geschwindigkeit hat, kleiner dagegen im entgegengesetzten Fall. Deßhalb sind Wintertage und Winterstunden länger als Sommertage und Sommerstunden; der wahre Sonnentag und die wahre Sonnenstunde (sein 24ster Theil) haben überhaupt eine veränderliche Größe im Jahreslauf, wozu auch noch der Umstand etwas beitägt, daß die beiden Bewungen der Erde nicht genau einerlei Richtung haben, sondern gemäß der Schiefe der Ekliptik von einander etwas divergiren, und zwar am stärksten zur Zeit der Nachtgleichen, am wenigsten zur Zeit der Sonnenwenden). Diese **Ungleichheiten in der wahren Sonnenzeit** gleichen sich aber jährlich aus, so daß 365 gleich lang dauernde Tage zusammen den 365 wahren Sonnentagen von wechselnder Dauer genau gleich sind, und man kann beifügen, daß die **Ausgleichung** sogar **zweimal jährlich** stattfinden muß, indem die Zeiten von einer Sonnenwende zur andern gleich lang dauern, oder Sommer und Herbst zusammen so lang als Winter und Frühling zusammen (wenigstens nach dem gegenwärtigen Stand der Dinge).

Darauf beruht die Erfindung der sogenannten **mittleren Sonnenzeit** zum Behuf der Zeitmessung. Man theilt das Jahr in 365 Tage von gleicher Dauer und legt diesen mittleren Sonnentag bei der Reglung der Uhren, sowie bei allen Zeitangaben zu Grund. Die nach mittlerer Zeit geregelte Uhr wird daher der wahren Sonnenuhr bald vor-, bald nachgehen, aber stets wieder mit derselben zusammentreffen. Daher rührt denn

der jedem Kalenderleser auffallende Umstand, daß, gemäß den (nach mittlerer Zeit gemachten) Angaben über Aufgang und Untergang der Sonne, die Vo.mittage und Nachmittage nur zuweilen gleich lang dauern, meistens aber der eine oder der andere dieser beiden Zeiträume größer ist, ein Unterschied, der bis zu einer halben Stunde betragen kann. Ist nämlich die mittlere Zeit der wahren Zeit voran, so ist im Augenblick unsres Mittags die Kulmination der Sonne noch Zukunft, der Nachmittag muß also länger dauern, als der Vormittag, und umgekehrt. Das Zusammentreffen der wahren und mittleren Zeit findet viermal im Jahre statt (nämlich nach dem gegenwärtigen Stand der Dinge Mitte Aprils, Mitte Junis, Anfangs Septembers, eine Woche vor Ende Decembers). Und in der That, es muß einmal um die beiden Zeitpunkte stattfinden, wenn die Erde mit ihrer mittleren Geschwindigkeit selbst sich bewegt, was bei dem allmäligen Uebergang von der größten zur kleinsten Geschwindigkeit, und umgekehrt, sich ereignen muß, also ungefähr um die Mitte zwischen den Zeitpunkten des Größten und Kleinsten, welche gegenwärtig bald nach den Sonnenwenden eintreten (die größte nach der Winter-, die kleinste nach der Sommer-Sonnenwende). Alsdann muß es stattfinden um die Zeitpunkte der zweimaligen jährlichen Ausgleichung der ungleichförmigen Bewegung, und diese sind eben diejenigen, wo sich die Erde am schnellsten und am langsamsten bewegt, was eine Folge von dem Gesetz dieser Bewegung selbst ist.

Was ist denn nun die Regel in der Unregelmäßigkeit, welche die Bewegung der Erde um die Sonne darbietet? Kepler antwortet auf diese Frage mit den Gesetzen, die seinen Namen tragen, den allgemeinen Gesetzen der Planetenbewegung. Das erste deser Keplerschen Gesetze betrifft die Gestalt der Planetenbahnen und insbesondere der Erdbahn, von der wir bis jetzt nur wissen, daß sie in einer Ebene sich befindet, deren Lage wenigstens beträchtliche Zeiträume hindurch merklich sich gleich bleibt. Es ändert sich nämlich bei dem Umlauf der Erde um die Sonne nicht blos die Geschwindigkeit derselben, sondern auch ihre Entfernung von der Sonne. Dieß erkennt

man heutzutage mittelst Messungen durch's Fernrohr ganz einfach daran, daß die Sonnenscheibe nicht stets gleich groß erscheint, sondern im Verlauf des Jahres allmählig von einem Größten zum Kleinsten und von diesem zu jenem zurück sich ändert. Wäre also auch die Erdbahn ein Kreis, so könnte die Sonne jedenfalls nicht im Mittelpunkt dieses Kreises stehen, allein sie ist kein Kreis, sondern (wie auch alle anderen Bahnen um die Sonne) eben jenes Oval, die Ellipse, das uns schon bei der Gestalt des Erdkörpers begegnet ist. Es ist hier der Ort, ein Näheres von dieser Kurve anzugeben. Wenn man zwei Stifte auf einer Zeichentafel befestigt, eine lose um dieselben gelegte geschlossene Schnur mit einem Bleistift spannt und dieses an der stets gespannten Schnur auf der Zeichentafel herumführt, so beschreibt dasselbe eine Ellipse. Die beiden Punkte, in denen die Stifte stehen heißen die Brennpunkte der Ellipse, und der durch dieselben gehende Durchmesser ist der größte, welcher in der Ellipse gezogen werden kann, ihre große Axe, welche die Figur in zwei vollkommen gleiche Theile theilt; in der Mitte zwischen den beiden Brennpunkten liegt der Mittelpunkt der Ellipse, in welchem alle Durchmesser sich halbiren, und je kleiner der Abstand des Brennpunkts im Verhältniß zu der großen Axe ist, desto weniger weicht die Ellipse vom Kreis ab (desto kleiner ist ihre Excentricität); die Punkte endlich, in welchen die große Axe die Ellipse trifft, ihre (Spitzen) Scheitel oder Apsiden, haben die Eigenschaft, daß in ihnen die Kurve die stärkste Krümmung hat und die Axe rechtwinklig schneidet, welche ebendaher auch Apsidenlinie heißt. Die Brennpunkte haben ihren Namen von der Rolle, welche sie bei Strahlungen spielen; bringt man nämlich in den einen Brennpunkt eines ellipsoidischen Spiegels Feuer, in den andern einen brennbaren Stoff, so entzündet sich derselbe auf eine Entfernung, in welcher sonst die Wärmestrahlung keine Entzündung hervorbringen könnte; ebenso hört man in einem großen ellipsoidischen Gewölbe am einen Brennpunkt leises Sprechen, welches am anderen in bedeutender Entfernung stattfindet. Weiteres hierüber gehört natürlich nicht hieher; das Angeführte aber mag hinreichen, um das

erste von Keplers Gesetzen zu verstehen, wenn dasselbe ausspricht, daß die Planetenbahnen Ellipsen seien, in deren einem (diesen verschiedenen Ellipsen gemeinschaftlichen) Brennpunkt die Sonne sich befindet.

Kennen wir so die Gestalt der Erdbahn, so belehrt uns das zweite der Keplerschen Gesetze über die Aenderung der Geschwindigkeit und ihre halbjährliche Ausgleichung, wovon uns das Thatsächliche bereits bekannt ist. Die Hauptsache hiebei ist nämlich nun, daß die größte Geschwindigkeit bei der kleinsten Entfernung (in der Sonnennähe), und die kleinste Geschwindigkeit bei der größten Entfernung (in der Sonnenferne) stattfindet, daß überhaupt die Geschwindigkeit mit zunehmender Entfernung abnimmt und umgekehrt. Je größer also die Entfernung der Erde von der Sonne ist, desto kleiner ist das Stück der Bahn, welches sie in einer gewissen Zeit (z. B. in einem Tag) durchläuft, je kleiner dagegen die Entfernung, ein desto größeres Stück der Bahn wird in derselben Zeit durchlaufen. Dieß gleicht sich nun dahin aus, daß die dreieckigen Flächenräume, welche von gleichzeitig durchlaufenen Stücken der Bahn und von den Abständen begränzt werden, gleich sind; sie sind in der That nach dem Bemerkten um so schmäler, je länger, und um so breiter, je kürzer sie sind; daß ihre Flächen auf diese Weise genau ausgeglichen werden, darin besteht eben das zweite Keplerische Gesetz oder der Satz, daß die Flächen, welche der Abstand von der Sonne bei dem Umlauf des Planeten beschreibt, sich einfach verhalten, wie die dazu verwendeten Zeiten.

Daß aber die Geschwindigkeiten der Planeten um so größer sind, je kleiner die Entfernungen von der Sonne, dieß läßt auch vermuthen, daß die entfernteren Planeten durchschnittlich sich langsamer bewegen müssen als die näheren, daß sie also nicht blos in dem Verhältniß längere Zeiten zu ihren Umläufen brauchen, als die zu durchlaufenden Bahnen größer sind, sondern daß die Umlaufszeiten in einem stärkeren Verhältniß zunehmen als die Umfänge der Bahnen. Jupiter z. B. ist durchschnittlich ungefähr fünfmal weiter von der Sonne entfernt als die

Erde, er braucht aber nicht die fünffache Zeit, sondern gegen 12 Jahre zu seinem Umlauf. Das genaue Verhältniß spricht das dritte Keplersche Gesetz aus, wenn es behauptet, daß die Quatratzahlen der Umlaufzeiten sich verhalten wie die Kubikzahlen der mittleren Abstände von der Sonne (oder der halben großen Axen.) Hierin liegt eine merkwürdige Beziehung zwischen den verschiedenen Planetenbahnen des Sonnensystems; auf ihre Verschiedenheiten in den elliptischen Verhältnissen kommen wir im zweiten Buche zu sprechen; hier kehren wir zu der Erdbahn zurück.

Die Ellipse, welche die Erde um die Sonne beschreibt, weicht nicht bedeutend vom Kreis ab; der Abstand der Sonne vom Mittelpunkt der Ellipse beträgt nur 16 Tausendtheile von der halben großen Axe oder von der mittleren Entfernung, mithin etwas über 300000 Meilen, und folglich befindet sich die Erde der Sonne in der Sonnennähe um etwas über 600000 Meilen näher, als in der Sonnenferne, während die mittlere Entfernung 20½ Millionen Meilen beträgt. Die große Axe oder die Apsidenlinie der Erdbahn liegt (gegenwärtig) so im Raum, daß die Sonnennähe am 1. Januar, also kurz nach unserer Wintersonnenwende, die Sonnenferne am 2. Juli, oder kurz nach unserer Sommersonnenwende stattfindet, zugleich also beziehungsweise die größte und die kleinste Geschwindigkeit, wovon oben schon wegen der mittleren Zeit die Rede war. Die Zwischenzeit zwischen den Apsidenständen aber dauert, gemäß dem zweiten Keplerschen Gesetz, genau ein halbes Jahr, und deßhalb muß die ungleichförmige Bewegung sich zweimal jährlich ausgleichen oder mit der gleichförmigen zusammentreffen, nämlich eben um die Zeiten der Apsiden. Die beiden Zeitpunkte aber, wo die Erde (vorübergehend versteht sich) ihre mittlere Geschwindigkeit annimmt, fallen keineswegs genau, aber ziemlich nahe mit den Zeitpunkten der mittleren Entfernung zusammen, und diese finden (gegenwärtig) kurz nach den Nachtgleichen, nämlich am 1. April und 2. Oktober statt, wo die Erde an den Endpunkten des kleinsten Durchmessers ihrer Bahn (der kleinen Axe) oder in den

flachen Scheiteln der Ellipse sich befindet und parallel der Apsidenlinie sich bewegt (rechtwinklig zu derselben dagegen an den Apsiden oder an den spitzen Scheiteln).

Daß die Erde in ihrer Sonnenferne um 600000 Meilen oder um den 30. Theil der mittleren Entfernung weiter von der Sonne absteht als in der Sonnennähe, hat die Folge, daß sie dann ungefähr um den fünfzehnten Theil weniger Wärme erhält als zur Zeit der kleinsten Entfernung. Dieß muß allerdings von *Einfluß auf die Erwärmungsverhältnisse der Erde* sein, allein es ist für die einzelnen Erdorte ein sehr untergeordneter Umstand, wie schon daraus hervorgeht, daß um diese Zeit (2. Juli) die nördliche Halbkugel Sommer, die südliche Winter hat, um die Zeit der Sonnennähe aber (1. Januar) wir unseren Winter und unsere Gegenwohner ihren Sommer haben; die größere oder kleinere Schiefe der Sonnenstrahlen ist weit das überwiegende und maßgebende Merkmal für ihre erwärmende Kraft. Die gegenwärtige Lage der Apsidenlinie aber hat eine merkwürdige Folge für die beiden Halbkugeln der Erde. Die nördliche nämlich hat die Sonne im Winter näher als im Sommer, was ohne Zweifel eine Erhöhung der Winter- und eine Erniedrigung der Sommer-Temperatur (unter sonst gleichen Umständen) zur Folge hat, zugleich (wegen des Zusammenhangs zwischen der Geschwindigkeit und der Entfernung) dauert unser Sommerhalbjahr um eine Woche länger, als das Winterhalbjahr. Die südliche Halbkugel aber, welche stets die entgegengesetzten Jahreszeiten hat von denen, die auf der nördlichen stattfinden, hat einen (um 8 Tage) kürzeren, aber (unter sonst gleichen Umständen) etwas wärmeren Sommer und einen längeren und zugleich strengeren Winter, während die nördliche einen längeren aber kühleren Sommer und einen kürzeren und zugleich milderen Winter hat. Alle diese Vergleichungen haben aber nur den Sinn, daß der Winter etwas milder oder etwas strenger sei u. s. w., als er unter sonst gleichen Umständen wäre, wenn eben nur die Lage der Apsidenlinie eine andere wäre.

Alles dieß gilt aber nur für ein paar Jahrhunderte vor und nach der jetzigen Zeit. Denn wie wir schon bei der Lage

der Erdbahn bemerken mußten, daß sie und damit die Schiefe der Ekliptik nicht unveränderlich sich gleich bleibt, so gilt dasselbe auch von der Lage der Apsidenlinie und selbst vom Betrag der Excentricität, die Aenderung geht aber ebenfalls sehr langsam von Statten, wogegen die Umlaufszeit und folglich (nach dem dritten Kepler'schen Gesetz) die mittlere Entfernung (die Länge der großen Axe) sich vollkommen gleich bleibt, wie der Zeitraum der Axendrehung. Das Nähere über diese Veränderungen der elliptischen Elemente sowie über die Folgen davon für die Erde wird sich im nächsten Abschnitt zugleich mit den Ursachen herausstellen.

Was aber erhält die Erde in dieser Bahn um die Sonne, dergestalt, daß sie sich nicht nur von derselben nicht verliert, sondern daß vielmehr unbedeutende Aenderungen erst nach sehr langen Zeiten merklich werden, während die wesentlichen Verhältnisse stets dieselben bleiben? Bedenken wir, daß die Geschwindigkeit der Erde mit wachsender Entfernung abnimmt, mit abnehmender Entfernung von der Sonne aber zunimmt, so werden wir keinen Augenblick anstehen, die Ursache einer anziehenden Kraft der Sonne zuzuschreiben, deren Stärke mit der Entfernung abnimmt. Auch ergibt sich aus den Gesetzen der Planetenbewegung durch strenge mathematische Schlüsse, daß die bewegende Kraft derselben nicht nur stets nach der Sonne hingerichtet ist, sondern auch daß ihre Stärke sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der jedesmaligen Entfernung des Planeten von der Sonne, ein Gesetz, welches wir nach früheren Betrachtungen geneigt sein müssen, jeder anziehenden Kraft zuzuschreiben, ohne damit noch über das eigentliche Wesen dieser Kraft etwas näheres auszusagen. Wer sich ferner der Lehre vom Wurf aus dem ersten Abschnitt erinnert, der wird sich bereits von der Mechanik der Centralbewegung einen näheren Begriff zu bilden im Stande sein, um nämlich einzusehen, in wiefern eine solche anziehende Kraft eine Umlaufsbewegung hervorzubringen vermöge. Er wird einsehen, daß eine solche entstehen mußte, wofern die Erde nicht etwa vom Zustand der Ruhe aus in den Bereich der Anziehung gelangt ist — denn dann würde sie in gerader Linie

auf die Sonne zustürzen, — wofern sie vielmehr zu irgend einer Zeit auf irgend eine Weise einen Antrieb zur Bewegung erhalten hat in einer andern Richtung als zur Sonne hin, einen ursprünglichen Seitenanstoß, wie wir der Kürze wegen sagen wollen, ohne aber damit sagen zu wollen, daß es hiebei genau so wie bei einem Wurf zugegangen sein sollte. Vielmehr müssen wir uns bei der Frage nach der Ursache jenes ursprünglichen Seitenanstoßes verhalten wie im zweiten Abschnitt bei der Frage nach der ursprünglichen Entstehung der Axendrehung unseres Planeten, während wir in beiden Fällen die Erhaltung der einmal begonnenen Bewegung uns vollkommen klar machen können. Wir können blos sagen, daß der fragliche Antrieb ohne Zweifel mit der Entstehung der Erde, wie der Planeten überhaupt, zusammenhängen muß, und andeuten, daß die allgemeine westöstliche Richtung der Umläufe vielleicht in einer ursprünglichen Axendrehung ihre Ursache hat, welche der Materie des Sonnensystems zukam, als dieselbe noch vor der Ballung in einzelne Massen in einem chaotischen Urzustand begriffen war, ein Gedanke, den wir im zweiten Buche weiter auszuführen haben.

Kehren wir zu dem Spiel der Centralbewegung zurück. Um die Erhaltung des Umlaufs der Erde um die Sonne zu begreifen, reicht es hin uns vorzustellen, daß die Erde in der That zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort des Raums eine bestimmte Geschwindigkeit bereits hat, nämlich in der Richtung der Tangente an die bisherige Bahn, und daß diese Tangentialgeschwindigkeit (das Ergebniß der bisherigen Bewegung) eben der Seitenanstoß ist für die ganze folgende Bewegung von jenem Augenblick an. Alsdann erhellt, wie sie in ihrer Bewegung um die Sonne dadurch erhalten wird, daß sie beständig mit einer nach Maßgabe der Entfernung stärkeren oder schwächeren Kraft von der Tangente ab zur Sonne hin gezogen wird, und zwar dergestalt, daß die Ablenkung von der Tangente in jedem Augenblicke sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der jedesmaligen Entfernung von der Sonne; hierin besteht das Neutonische Gesetz von der Centralbewegung der Planeten. Denken wir uns nämlich nun das Verhältniß zur

Sonne aufgelöst oder die Centralkraft aufgehoben, so wird die Erde von diesem Zeitpunkt an mit der Geschwindigkeit und in der Richtung, die sie eben hatte, geradlinig und gleichförmig sich fortbewegen zufolge der Trägheit, die in unserem Begriff von der Materie liegt; denken wir uns aber die Erde in Ruhe versetzt oder die Tangentialgeschwindigkeit aufgehoben, so wird sie in gerader Linie mit stets wachsender Geschwindigkeit auf die Sonne zustürzen. Haben wir aber in jedem Augenblick beides, die Tangentialgeschwindigkeit, welche die Erde von der geradlinigen Annäherung zur Sonne, und die Centralkraft, die sie von der geradlinigen Entweichung abzieht, so muß sie nothwendig die Sonne in krummliniger Bahn umwandeln. Nach diesen Erläuterungen wird wohl Niemand mehr fragen, warum die Erde in der Sonnennähe oder Sonnenferne nicht stehen bleibe; wohl aber müssen wir noch die Frage berücksichtigen, wie es komme, daß die Erde in der Sonnennähe, wo doch die Centralkraft am stärksten wirken soll, sich wieder von der Sonne zu entfernen, in der Sonnenferne dagegen, wo die schwächste Anziehung stattfinden soll, der Sonne sich wieder zu nähern beginnt? Die allgemeine Antwort ist, daß bei der Planetenbewegung abwechselnd die Centralkraft oder die Tangentialgeschwindigkeit das Uebergewicht hat, im ersten Fall muß Annäherung, im letzteren Entfernung stattfinden. Wir müssen aber auf diesen Gegenstand noch näher eingehen.

Wer jene Frage aufwirft, erwartet, daß die Erde von der Sonnennähe aus sich nicht wieder entfernen, vielmehr sofort ihren kürzesten Abstand beibehalten oder gar denselben noch mehr verringern sollte, um sich der Sonne spiralförmig zu nähern; worauf wir entgegnen, daß ihre Geschwindigkeit in der Sonnennähe ebenfalls am größten ist, wie die Anziehung, und in der That zu groß, als daß sofort ein Kreis beschrieben werden könnte, um so mehr also zu groß für eine spiralförmige (oder gar geradlinige) Annäherung, zudem daß im letzteren Fall von gar keiner Sonnennähe die Rede sein könnte. Wer ebenso erwartet, daß die Erde von der Sonnenferne aus sich nicht wieder nähere, vielmehr ihren größten Abstand beibehalten

oder gar denselben noch vergrößern sollte, um sich spiralförmig zu entfernen: dem erwiedern wir, daß die Tangentialgeschwindigkeit in der Sonnenferne ebenfalls ein Kleinstes ist, wie die Centralkraft, und in der That zu klein, als daß ein Kreis beschrieben oder die größte Entfernung beibehalten, geschweige also noch vergrößert werden sollte. Zudem könnte im letzteren Falle wieder von keiner Sonnenferne mehr die Rede sein, sowie auch, wenn man an eine mehr und mehr geradlinige (anstatt spiralförmige) Entfernung von der Sonne denkt. Das Letztere aber ist allerdings ein möglicher Fall von Centralbewegung nach dem Neutonischen Gesetz, wie wir gleich sehen werden, bei welchem dann kein wiederholter Umlauf stattfindet und welcher bei keinem Planeten vorkommt. Ueberhaupt sind Sonnennähe und Sonnenferne nicht im Voraus feste Punkte, sondern werden allererst durch das ursprüngliche Verhältniß zwischen der Entfernung (wornach die Anziehung sich richtet) und dem Seitenanstoß festgesetzt. Es muß eben nicht nothwendig eine Bahn mit Sonnennähe und Sonnenferne entstehen, d. h. eine Ellipse, sondern je nach dem ursprünglichen Verhältniß von Geschwindigkeit und Entfernung kann auch eine Bahn ohne jene beiden Punkte, d. h. ein Kreis, oder endlich eine Bahn mit Sonnennähe aber ohne Sonnenferne, eine Parabel oder Hyperbel entstehen, deren in's Endlose fortlaufenden Zweige mehr und mehr die Form einer geraden Linie annehmen, welche bei der Parabel der Apsidenlinie parallel ist, bei einer Hyperbel aber unter irgend einem Winkel von derselben divergirt.

Nun begreift man aber, daß ein Kreis, wo Entfernung, Centralkraft und Geschwindigkeit sich gleich bleiben, nur in einem ganz bestimmten Fall entstehen kann, nämlich, wenn der anfängliche Seitenanstoß rechtwinklig zu dem Abstand von dem Centralkörper ist und zu demselben ein bestimmtes Größenverhältniß hat, so daß die von diesem Abstand abhängige Centralkraft ganz zur Krümmung der Bahn verwendet wird, ohne zugleich die Geschwindigkeit zu ändern, und in diesen ganz bestimmten Bedingungen liegt wohl auch der Grund, warum wir im Sonnensystem keine Kreisbahn antreffen. Denn sowie jenes bestimmte

ausgleichende Verhältniß sammt der erforderlichen Anfangsrichtung nicht genau eingehalten ist, so muß sich die Entfernung, mit ihr die Centralkraft und folglich auch die Geschwindigkeit ändern, und es ergibt sich, wofern das Mißverhältniß eine gewisse Gränze nicht übersteigt, das Spiel abwechselnder Annäherung und Entfernung, abwechselnden Ueberwiegens der Centralkraft und der Tangentialgeschwindigkeit, worin das Wesen der elliptischen Bewegung besteht, sofern zwar beide mit einander zu- und abnehmen, aber nicht in demselben Verhältniß. Bei der Annäherung des Planeten bekommt die wachsende Geschwindigkeit das Uebergewicht. Der Planet stürzt rechtwinklig zum Abstand an der Sonne vorbei (Sonnennähe), und entfernt sich vermöge des überwiegenden Schwungs; hiebei nimmt die Geschwindigkeit ab, die Centralkraft gewinnt allmälig das Uebergewicht und krümmt die Bahn des Planeten herum, bis er genöthigt ist, abermals rechtwinklig zum Abstand vorüberzugehen (Sonenferne), um sich wieder zu nähern. Beide Hauptpunkte (die Apsiden), die sonach durch das ursprüngliche Verhältniß zwischen Centralkraft und Tangentialgeschwindigkeit festgesetzt werden, liegen stets mit den beiden Brennpunkten und dem Mittelpunkt der Kurve in einer nämlichen Geraden, der elliptischen Apsidenlinie. Je geringer nun jenes ursprüngliche Mißverhältniß ist, desto weniger wird die (Planeten-) Ellipse vom Kreis abweichen, wie wir dieß bei der Erde wahrgenommen haben; je größer aber der anfängliche Seitenanstoß ist im Vergleich mit der Entfernung, desto größer wird der Schwung in der Sonnennähe ausfallen, desto weiter wird sich der Komet entfernen, bis die Centralkraft seine Bahn zu einer Sonnenferne herumkrümmt, desto langgestreckter wird mithin diese (Kometen-) Ellipse werden. Hiebei gibt es aber eine Gränze, bei welcher der Körper mit solcher Geschwindigkeit dem Einfluß der Centralkraft sich entziehen würde, daß jene Herumbiegung der Bahn und somit die Rückkehr des Körpers nicht mehr möglich wäre, und die Bewegung mehr und mehr in eine gleichförmige, geradlinige überginge, parallel der Apsidenlinie. Wenn aber wiederum diese parabolische Bewegung mit dieser bestimmten Endrichtung nur bei

einem ganz bestimmten Verhältniß zwischen Anstoß und Entfernung stattfinden kann, so ergibt sich bei allen anderen Verhältnissen, welche jene Gränze noch übersteigen, die hyperbolische Bewegung, die unter einem kleineren oder größeren Winkel von der Apsidenlinie divergirt.

Hiemit mag das Spiel der elliptischen Bewegung Jedermann klar sein, in welchem auch die Erde begriffen ist, und worauf die Erhaltung ihres so wichtigen Verhältnisses zur Sonne beruht, ihrer im Grundwesentlichen sich gleichbleibenden Erleuchtung und Erwärmung. Wir können nun zur letzten Frage dieses Abschnittes fortschreiten, welcher Natur jene anziehende Kraft der Sonne sei, welche die Erde, sowie alle Planeten in ihren Bahnen erhält. Nun haben wir bereits im ersten Abschnitt die Weltkörper als Sitze von Schwerkräften kennen gelernt, durch welche sie eben in ihrer Ganzheit erhalten werden, sofern dieselben nach Art der irdischen Schwere Alles, was zu jeglichem Weltkörper gehört, ohne Unterschied des Stoffs anziehen und festhalten. Wir haben überdieß die Einsicht gewonnen, daß der Wirkungskreis dieser Schwerkräfte weit über die Oberflächen hinaus sich erstrecken müssen, wobei sie an Stärke abnehmen und zwar in quadratischem Verhältniß; ja wir haben aus Gelegenheit der Wurfbewegung bemerken müssen, daß ein Körper, welcher von der Erde aus mit solcher Kraft in den Raum hinausgeschleudert würde, daß er den Boden nicht mehr erreichte, mondartig die Erde umkreisen müßte. Alle diese Betrachtungen müssen uns bereits geneigt machen, die Ursache der himmlischen Umlaufsbewegungen eben in jenen Schwerkräften zu suchen, vor allem den Umlauf des Monds um die Erde als Folge der irdischen Schwere zu betrachten. Das Letztere ist aber thatsächlich nachgewiesen worden durch Neuton; es ist dieß die große Entdeckung von der Einerleiheit der anziehenden Kräfte, welche bei den Umläufen der Weltkörper im Spiel sind, mit der Schwerkraft, die Entdeckung der allgemeinen Massenanziehung. Folgen wir Neutons Schlüssen in runden Zahlen. Da auch die Bewegung des Mondes um die Erde nach den Keplerschen Gesetzen vor sich geht,

so muß auch der Mond in jedem Augenblick von der Tangente seiner Bahn nach der Erde zu um eine Größe abgelenkt werden, welche sich umgekehrt verhält, wie die Quadratzahl von der jedesmaligen Entfernung. Ist also die Schwere die anziehende Kraft, welche diese Bewegung wirkt, so muß sie in der Entfernung des Mondes von der Erdmitte, welche durchschnittlich 60 Erdhalbmesser beträgt, 60 . 60 d. h. 3600 mal schwächer wirken als an der Erdfläche, mithin muß jene Ablenkung des Monds von der Tangente in einer Sekunde Zeit durchschnittlich 3600 mal kleiner sein als der Raum von 15 Pariserfuß, durch welchen die Körper an der Erdoberfläche in der ersten Sekunde ihres Falls von der Schwere getrieben werden. Da ferner die Fallräume sich verhalten wie die Quadratzahlen der Zeiten, so muß die Ablenkung des Mondes von der Tangente in einer Minute wieder 3600 mal größer sein, also gerade 15 Fuß betragen, in einer Stunde abermals 3600 mal größer, was bereits 54000 Fuß giebt als durchschnittlichen Betrag der stündlichen Ablenkung des Monds von der Tangente. Stimmt dieser Betrag nun mit der aus den Beobachtungen erschlossenen wirklichen Ablenkung des Monds überein, so kann kein Zweifel sein, daß die Schwere, d. h. dieselbe Kraft, vermöge deren die Körper zur Erdfläche fallen, es ist, welche den Mond beständig von der geraden Linie abzieht und seine Bahn zur Erde krümmt. So war es aber, und die wahre Ursache des Mondumlaufs war entdeckt.

Aus dieser Thatsache dürfen nun blos die gehörigen Folgerungen gezogen werden, um zu der Einsicht in die allgemeine Weltkraft zu gelangen, durch welche die frei im unendlichen Weltraum schwebenden Körper gleichsam an einander aufgehangen sind, welche den Bau des Weltalls im Ganzen wie den jedes Weltkörpers im Einzelnen zusammenhält. Die anziehende Kraft, welche den Mond an die Erde bindet, ist Schwere, Massenanziehung, d. h. Anziehung, welche die Materie als solche ausübt, ohne Unterschied des Stoffs, also wesentlich verschieden von magnetischer, elektrischer Anziehung, welche besonderen Stoffen oder der Materie in besonderen Zuständen zukommt und

stets Abstoßung zur Seite hat. Diese Massenanziehung oder die allgemeine Schwerkraft der Materie muß auch die Ursache sein, welche die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne erhält, denn diese befolgen ja dieselben Gesetze, wie der Mond in seiner Bewegung um die Erde; die anziehende Kraft der Sonnenmasse muß aber viel größer sein, als die der Erde (nämlich bei einerlei Entfernung des anziehenden und angezogenen Körpers), weil in ihrer gegen anderthalbmillionenmal größeren Kugel weit mehr Masse angehäuft ist. Dieselbe Gravitation regiert in den Mondenwelten der großen Planeten, denn auch hier gehen die Bewegungen nach denselben Gesetzen vor sich. Die Gravitation der Massen muß aber ferner überall gegenseitig sein nach Maßgabe ihrer Größe, die Sonne gravitirt auch gegen die Planeten, diese unter einander und gegen ihre Monde, ja auch die Fixsterne hängen durch denselben Verband unter einander und mit der Sonne zusammen, jeder Weltkörper wird von jedem anderen angezogen und zieht jeden anderen an, und alle diese Anziehungen richten sich nach der Größe der Massen und der Entfernungen. Das ganze Wesen der Materie ist so sehr Gravitation, daß dieselbe ihr bis zu den kleinsten Theilen zukommt; jedes materielle Pünktchen ist für sich vereinzelt ein Träges, aber einem zweiten räumlich gegenübergestellt ein Wirkendes, anziehend und angezogen, jede Masse und jeder Massentheil gravitirt gegen jeden anderen. Daher nehmen im flüssigen Zustand, wo die Theilchen noch in Freiheit gegen einander sind, die einzelnen Massenanhäufungen im Großen wie im Kleinen Kugelgestalt an mit noch immer zunehmender Dichte der Schichten; nicht in den Mittelpunkten, sondern in allen Punkten der Weltkörper sitzt die Schwerkraft, sie ziehen aber vereint nach dem Mittelpunkt wegen der ebenmäßigen Lage desselben gegen die einzelnen Anziehungspunkte, daher, denn wo dieses Ebenmaß etwas gestört ist, wie in der nächsten Nähe großer vereinzelter Berge, eine kleine Ablenkung des Hängloths von der senkrechten Lage u. s. w.

Wir kommen hiemit auf die Wahrnehmungen über die irdische Schwere im ersten Abschnitt zurück; die weiteren Folgerungen

aber, insbesondere für die Erde, die sich aus der allgemeinen Gravitation ergeben, werden uns im nächsten Abschnitt beschäftigen. Indessen werden die Leser bereits ahnen, daß die angedeuteten Veränderungen, welche die Erde in ihrer Doppelbewegung erleidet, ihren Grund in den anderweitigen Anziehungen haben werden, denen die Erde, außer derjenigen der Sonne, ausgesetzt ist. Wir schließen diesen mit der Angabe des vollständigen Gravitationsgesetzes, welches darin besteht: daß jede Masse, groß oder klein, Ganzes oder Theil, jede andere anzieht, erstlich blos weil sie Masse, Materie ist, ebendaher zweitens im Verhältniß der Masse, der Menge tastbaren Anziehungsstoffs, drittens endlich, da die Wirkung im Raum vor sich geht, im umgekehrten Verhältniß des Quadrats ihrer Entfernung von der anderen Masse.

IV.

Die Erde unter dem Einfluß der allgemeinen Gravitation in ihren Bewegungen gestört und ein Glied höherer Systeme.

Wir haben uns nun im Weltall bis zur Wahrnehmung der allgemeinen Weltkraft zurechtgefunden, welche Weltkörper sowie Systeme von Weltkörpern zusammenhält; aber wir haben noch keineswegs alle Folgen derselben für die Erde entwickelt, womit sich erst die Uebersicht der kosmischen Beziehungen unsrer Erde vollendet. Die erste ist die „Wägung" der Erde, theils im Verhältniß zu irdischen Körpern, theils im Verhältniß zu anderen Weltkörpern.

Um überhaupt zu begreifen, wie das Gravitationsgesetz dazu dient, die Massenverhältnisse der Körper zu ermitteln, wird man erwägen, daß bei einerlei Entfernung des angezogenen Körpers die Anziehungskräfte zweier verschiedener Massen sich genau wie diese Massen verhalten müssen; alsdann, daß die Stärke der Anziehungen oder der bewegenden Kräfte nach den dadurch bewirkten Bewegungen zu beurtheilen ist. Das letztere ist aber verschieden je nach der Art der Bewegung und wir müssen uns dabei auf Sätze der Mechanik berufen, ohne uns in die Herleitung derselben einzulassen. Vergleicht man z. B. zwei Schwerkräfte durch die Dauer der Schwingungen, welche ein und dasselbe Pendel in Folge ihrer Wirksamkeit macht, so lehrt die Mechanik, daß jene Kräfte sich umgekehrt verhalten, wie die Quadratzahlen der Schwingungszeiten, und mittelst dieses Satzes hat man durch Pendelversuche, die unter verschiedenen geographischen Breiten angestellt worden sind, die geographischen

Verschiedenheiten der irdischen Schwerkraft ermittelt, sowie die Größe der irdischen Schwungkraft, wovon die Ergebnisse im zweiten Abschnitt angeführt worden sind. Ganz ähnlich aber lautet der Satz, wenn man die anziehenden Kräfte zweier Weltkörper durch die Dauer der Umläufe von Körpern vergleicht, welche dieselben in dem nämlichen (mittlern) Abstand umkreisen würden; die Anziehungskräfte jener beiden Körper (und folglich ihre Massen nach obigem) verhalten sich alsdann umgekehrt wie die Quadratzahlen der Umlaufzeiten.

Um nun die Erdmasse mit den Massen irdischer Körper zu vergleichen, konnte man die schon im ersten Abschnitt erwähnte Ablenkung des Hängloths (Senkbleis) in der Nähe vereinzelt stehender Berge benützen, um aus der beobachteten Ablenkung auf das Verhältniß der Erdmasse zu der Masse des Bergs zu schließen. Allein da die Masse des Bergs auch nicht unmittelbar gewogen, sondern nur nach seinen Abmessungen und geognostischen Bestandtheilen geschätzt werden konnte, so konnten dergleichen Untersuchungen, wie sie namentlich von dem englischen Astronomen Maskelyne an einem schottischen Berge (Shehallien) angestellt worden sind, nicht zu dem genauesten Ergebniß führen. Man ist aber sofort durch eine äußerst sinnreiche Vorrichtung dahin gelangt das Verhältniß der Erdmasse zu einer wirklich gewogenen Metallmasse zu bestimmen, indem man die Schwingungen eines Sekundenpendels in Folge der irdischen Schwere mit derjenigen verglich, welche ein an einem feinen langen Faden wagrecht aufgehängtes, an seinen Enden mit kleinen gleich großen Bleikugeln versehenes Stäbchen in der nächsten Nähe zweier sehr großer Bleikugeln von bekanntem gleichem Gewicht macht, welche den Enden dieses „wagerechten Pendels" gegenüber gestellt sind. Daraus mag sich der Leser ein ungefähres Bild von dieser Vorrichtung (Drehwage gennant) machen, mit welcher zuerst durch Cavendish in England, neuestens durch Reich in Deutschland Versuche über die Masse der Erde angestellt worden sind. Was sich hieraus ergeben hat, ist, daß die Erdmasse (oder das Gewicht der Erde) nahezu $5^1/_2$mal so groß sein müsse, als die Masse (das Gewicht) einer gleich gro-

ßen Wasserkugel. Man nennt daher diese Zahl $5^1/_2$ (genauer 5,44) die mittlere Dichtigkeit oder das durchschnittliche specifische Gewicht der Erde, sofern sie angibt, um wie viel ein Kubikfuß Erdenstoff, wofern dieser überall gleichartig (gleich dicht) wäre (so zu sagen ein Kubikfuß durchschnittlichen oder mittleren Erdenstoffs) schwerer ist als ein Kubikfuß Wasser, welches bekanntlich der Stoff ist, den man bei Angabe der specifischen Gewichte zu Grunde legt. Man kann hieraus das wirkliche Gewicht der Erde berechnen, da man ihren Kubikinhalt vermöge der Gradmessungen kennt. Dieser beträgt nämlich in runder Zahl über dritthalbtausend Millionen Kubikmeilen, und damit ergibt sich als Gewicht der Erde ein Ziemliches über hunderttausend Trillionen Zentner.

Ziehen wir weitere Folgerungen aus diesen berühmten Versuchen. Sie sind einmal der unmittelbarste Beweis für die Allgemeinheit der Massenanziehung, zeigend, daß sie auch zwischen allen einzelnen kleinen irdischen Massen Stat findet. Sie bestätigen ferner die Zunahme der Erddichte von der Oberfläche nach der Mitte, welche wir gemäß dem wahrscheinlichen Bildungshergang der Erde schon im ersten Abschnitt anzunehmen hatten, und im zweiten durch die Kleinheit der Abplattung bestätigt fanden. Da nämlich die Gesteine, welche die feste Erdrinde bilden, nur $2^1/_2$- bis gegen 3mal schwerer sind als Wasser, so könnte die mittlere Dichte nicht $5^1/_2$mal so groß sein, wenn sich nicht im Innern dichtere Massen befänden. Das Gesetz der Dichtigkeitszunahme wird freilich unerledigt gelassen; allein der Leser wird sich aus dem zweiten Abschnitt erinnern, daß ihrerseits die Abplattung der Erde auf das Verhältniß zwischen der oberflächlichen Dichte der Erde einerseits und zwischen der mittleren und innersten Dichtigkeit andererseits schließen ließ, und daß die schöne Uebereinstimmung des dießfallsigen Ergebnisses mit dem Ergebniß der unmittelbaren Bestimmungen der mittleren Erddichte die annähernde Richtigkeit der bei jenem Schlusse zu Grunde liegenden Voraussetzung einer gleichmäßigen und allmäligen Dichtigkeitszunahme mehr als wahrscheinlich machte, welche eben so sehr das Vorhandensein großer mit

der Erde vergleichbarer) Höhlungen als großer regellos eingesprengter Massen von sehr abstechender Dichte ausschließt.

Auf der anderen Seite handelt es sich um die Masse der Erde im Verhältniß zur Sonnenmasse, und hiezu kann die Vergleichung der beiden Bewegungen dienen, vermöge deren der Mond die Erde in 27 Tagen und 7 Stunden, die Erde aber die Sonne in der ungefähr 400mal größeren Entfernung in 365¼ Tagen umkreist. Daraus folgt zunächst aus Keplers drittem Gesetz, daß ein Körper, welcher von der Sonnenmitte nicht weiter entfernt wäre, als der Mond von der Erde, seinen Umlauf in etwas über 1/25 Tag oder nahezu in einer Stunde vollenden würde; hieraus aber ergibt sich nach dem eben erwähnten Gesetz das ungefähre Massenverhältniß, nämlich daß die Sonne die Erde so vielmal in Masse übertrifft, als die Quadratzahl von der Stundenanzahl des Mondlaufs beträgt, d. h. über 400000mal. Dieß ist allerdings zu viel, und das genauere Verhältniß vielmehr, daß fast vierthalbhunderttausend Erdmassen die Sonnenmasse aufwiegen, wie man durch unmittelbare Vergleichung des Falls an der Erdfläche mit der Bewegung der Erde unter Benützung der genauesten Zahlen findet. Obige Betrachtung sollte nur ein anschauliches Beispiel in runden Zahlen von dem auch auf alle anderen Planeten, welche Monde haben, anwendbaren Verfahren geben, wodurch man Massenverhältnisse ermitteln kann. Da nun die Sonne an Rauminhalt die Erde gegen anderthalbmillionenmal übertrifft, so muß ihre mittlere Dichte ungefähr viermal geringer sein, als die der Erde. Auch der Mond ist durchschnittlich weniger dicht. Aus den Wirkungen, welche seine Anziehungskraft auf die Erde ausübt, wovon bald mehr die Rede sein wird, hat man geschlossen, daß seine Masse 88mal kleiner ist, als diejenige der Erde, während sein Rauminhalt nur fast 50mal kleiner ist, woraus folgt, daß seine mittlere Dichte gegen 2mal kleiner sein muß, etwas beträchtlicher als die Dichte der Erdrinde. Wir fügen noch bei, daß die Sonne alle Planeten zusammen an Masse über achthalbhundertmal, und auch den größten (Jupiter) noch über tausendmal übertrifft. Mehreres aber über die Verhältnisse der Massen und

Dichten unter den Weltkörpern gehört in die Naturgeschichte des Himmels, während die Vergleichung der Erde mit ihrem Herrscher, so wie mit ihrem Unterthan zu den kosmischen Naturverhältnissen der Erde selbst gehört.

Wir schreiten nun zu einer zweiten Folgerung für die Erde aus der Thatsache der allgemeinen Massenanziehung fort. Die Erde steht demzufolge unter dem Einfluß verschiedener anziehender Kräfte, neben der Hauptanziehung von Seiten der Sonne, deren weit überwiegende und durchherrschende Kraft nach dem zuvor angeführten erhellen mag. Durch letztere wird sie auch fortwährend in ihrem Jahreslauf erhalten, allein derselbe kann nicht genau, sondern nur nahezu nach den Gesetzen der elliptischen Bewegung vor sich gehen, weil sie durch andere, wenn auch im Vergleich mit der Hauptkraft noch so unbedeutende Anziehungskräfte bald dahin, bald dorthin gezogen, oder wie man zu sagen pflegt, in ihrem Umlauf gestört wird, und daher rühren auch die Veränderungen in mehreren Elementen ihrer Bewegung, welche wir bereits zu erwähnen hatten. Die bedeutendsten unter diesen Anziehungen sind diejenigen, welche die Planeten Venus, Mars, Jupiter und Saturn, sowie der Mond auf die Erde ausüben. Die übrigen sind zu klein oder zu weit entfernt, um einen merklichen Einfluß zu haben, und letzteres gilt ohnehin von den Fixsternen, wie sonnenhaft dieselben immerhin sein mögen, so nämlich, daß dieselben wohl auf die Sonne mit ihrem ganzen System (und damit mittelbar auf die Erde) bewegende Anziehung äußern, keineswegs aber einen einzelnen Planeten in seinen innern Systemverhältnissen auf merkliche Weise stören können. Durch die genannten Körper wird die Erde in ihrem Umlauf um die Sonne gestört und die wichtigsten Folgen davon sind die Veränderungen in der Lage der Bahnebene und der Apsidenlinie, so wie in der Gestalt der Bahn. Sie wird aber auch in ihrer Axendrehung gestört und zwar durch Sonne und Mond, woraus die Veränderung in der Richtung ihrer Axe folgt. Durch dieselben zwei Weltkörper wird sie endlich so zu sagen in der Herrschaft gestört, die sie durch die Schwerkraft über ihre Oberfläche selbst ausübt, und dieß zeigt sich vornehmlich

in den Gezeiten des Meeres. Hier, wie bei der Störung der Axendrehung, können bloß Sonne und Mond merklichen Einfluß haben, die Sonne wegen ihrer großen Masse, der Mond wegen seiner bedeutenden Nähe. Wir betrachten nun diese Störungen der Erde im Einzelnen.

Die Ebene der Erdbahn selbst ist in Folge der planetaren Störungen einer sehr langsamen Veränderung unterworfen, die erst im Lauf der Jahrhunderte merklich wird, während die Bewegung der Erde in einem Jahre, ja für viele Jahrzehnte so erfolgt, als ob ihr Schwerpunkt wirklich in einer festen Ebene fortrückte, obwohl es in aller Strenge nie der Fall ist. Die ältesten geschichtlichen Nachrichten, die wir haben, deuten eine fast 24 Grad betragende Schiefe der Ekliptik an, während sie jetzt unter 23½ Grad beträgt. Die Vergleichung der griechischen und arabischen Beobachtungen mit jenen ältesten chinesischen (welche man ins Jahr 1100 vor Christus setzt) so wie mit den neueren, gibt eine fortwährende Verminderung der Schiefe oder der Neigung der Erdbahn gegen den Aequator während der ganzen Zeit, aus welcher astronomische Aufzeichnungen vorhanden sind. Wie langsam aber diese Abnahme vor sich geht, mag man daraus ermessen, daß sie in jenen 29 Jahrhunderten noch keinen halben Grad ausmacht, und (wenn man sich nur an den neuesten hundertjährigen Zeitraum der genauen Beobachtungen hält) in einem Jahrhundert keine volle Minute, sondern nur etwas über 48 Sekunden d. h. den 75sten Theil eines Grads, so daß die Veränderung selbst innerhalb eines Jahrhunderts nur im Bereich der astronomischen Beobachtung und einflußlos auf die Naturverhältnisse der Erde bleibt. Aber nach Jahrtausenden würde die Veränderung so zu sagen ins Leben eingreifen auf die bereits im vorigen Abschnitt geschilderte Weise, der Unterschied des Sonnenstandes zu den verschiedenen Zeiten des Jahres würde für die einzelnen Erdorte merklich geringer, die Erdzonen selbst würden ihre Gränzen merklich ändern, indem sich die Mittelzonen verbreiterten. Nun erhebt sich die wichtige Frage: wird die Schiefe der Ekliptik bis zu jenem Aeußersten abnehmen, wo Aequator und Ekliptik

zusammenfallen, was beiläufig (bei stets gleichmäßiger Abnahme) nach 1775 Jahrhunderten einträte? Werden sich beide Ebenen alsdann wieder trennen, indem die Ebene der Erdbahn stets nach einer Richtung fortrückte, und die Schiefe eben so langsam zunähme, etwa bis zu dem anderen Aeußersten, d. h. zu einem rechtwinkligen Stande, was, von dem Jahr 179300 unserer Zeitrechnung an (dem Jahr des Zusammenfallens) wiederum nach 675 Jahrtausenden erfolgt wäre? Es gehört zu den Triumphen der auf das Gravitationsgesetz gegründeten Rechnungen, diese Frage beantworten zu können. Die Antwort lautet Nein, vielmehr können, wofern das Sonnensystem den in ihm waltenden Schwerkräften überlassen bleibt, und keine gewaltsame Umwälzung eintritt, jene Aeußersten nie eintreten, die Schiefe der Ekliptik kann nicht unter 21 Grad abnehmen, noch über 28 Grad zunehmen, so daß sie nur einen Spielraum von 6 Graden hat. Sie bleibt stets zwischen diese Gränzen eingeschlossen und schwankt in ungeheuren Zeiträumen um einen mittleren Werth von 24½ Graden her, Jahrtausende abnehmend, und dann wieder Jahrtausende hindurch zunehmend. Man hat selbst diese Zeiträume berechnet und gefunden, daß sie 294 Jahrhunderte vor Christus einen größten Werth von 27½ Grad erreicht, sofort 15 Jahrtausende bis zu 21⅓ Grad im Jahr 14400 vor Christus abgenommen hatte, um von da an während 124 Jahrhunderten bis zu fast 24 Grad zuzunehmen, dem größten Werth, den sie in den geschichtlichen Zeiten ums Jahr 2000 vor Christus hatte. Mit diesem hat der gegenwärtige Abnahmezeitraum begonnen, welcher 86 Jahrhunderte dauert, und in welchem sie bis etwas unter 23 Grad ums Jahr 6600 nach Christus abnimmt, worauf sie wieder 127 Jahrhunderte hindurch bis zu 25⅓ Grad zunehmen wird.

Die Schiefe der Ekliptik kann also nur um 4 Grad größer werden als sie jetzt ist; dann sind Tropenzonen und Polarzonen um so viel breiter, die Mittelzonen aber je um 8 Grad schmäler. Dann steht die Sonne an jedem Ort unserer nördlichen Mittelzone zur Zeit der Sommersonnenwende um 4 Grad höher, zur

Zeit der Wintersonnenwende um eben so viel niedriger, und der Unterschied zwischen dem längsten und kürzesten Tag ist etwas größer als jetzt. Stuttgart z. B. hat dann einen winterlichen Sonnenstand, übrigens mit kürzeren Tagen, wie ihn jetzt etwa Hamburg oder Berlin hat, zugleich aber einen sommerlichen Sonnenstand, übrigens mit längeren Tagen, wie ihn derzeit Florenz oder Marsellien hat. Die Schiefe der Ekliptik kann auf der anderen Seite um 2½ Grad kleiner werden, als sie jetzt ist; um eben so viel sind dann Tropen- und Polarzonen schmäler, die Mittelzonen dagegen um 5 Grad breiter. Die Sonne steht dann an jedem Ort in Deutschland zu Sommersanfang um 2½ Grad niedriger, zu Wintersanfang um eben so viel höher. Stuttgart z. B. hat dann einen sommerlichen Sommerstand, übrigens mit kürzeren Tagen, wie jetzt ein 2½ Grad nördlich gelegener Ort, z. B. Leipzig, und einen winterlichen Sonnenstand, übrigens mit längeren Tagen, wie er jetzt einem um eben so viel südlicheren Ort, z. B. Triest, zukommt.

Aehnlichen **Schwankungen** ist die **elliptische Gestalt** oder die Excentricität der Erdbahn unterworfen. Der Unterschied zwischen der größten und kleinsten Entfernung, welcher gegenwärtig etwa 600000 Meilen beträgt, kann zunehmen und abnehmen, aber auch nur zwischen engen Gränzen, so daß daraus **keine bedeutenden Unterschiede in den Erwärmungsverhältnissen** der Erde entspringen. Hätte freilich die Excentricität einen größeren Spielraum, so daß jener Unterschied zwischen Sonnennähe und Sonnenferne auf Millionen von Meilen anwachsen könnte, daß etwa jene in die Region des Merkur, diese in die des Mars fiele, während immer die mittlere Entfernung jährlich auf denselben Betrag zurückkäme: so wäre dieß eine eben so erfolgreiche, ja alle irdischen Verhältnisse umwälzende Veränderung, wie wenn die Schiefe der Ekliptik bis zu Null abnehmen und bis zu 90 Grad zunehmen könnte. Außer den unmittelbaren Folgen für die Wechsel in der Erwärmung würden dann sehr bedeutende Unterschiede in der Dauer der Jahreszeiten und der Sonnentage, zwischen mittlerer und wahrer Zeit sich ergeben. Allein wir haben schon im dritten Abschnitt gesehen,

von welch geringem Belang für die Temperaturverhältnisse der Erde jene 600000 Meilen selbst sind, noch weniger machen die Aenderungen aus, denen diese Größe unterworfen ist. Die Excentricität der Erdbahn nimmt nämlich gegenwärtig ab, und zwar in einem Jahrhundert um 42 Millionentheile der mittleren Entfernung, aber nur bis zu einer gewissen Gränze, wo sie dann nur fast 4 Tausendtheile der mittleren Entfernung beträgt; alsdann nimmt sie wieder zu aber nur bis gegen 20 Tausendtheile derselben Größe, und die Zeit, welche zwischen beiden Gränzwerthen verfließt, beträgt ungefähr 48 Jahrtausende. Mit anderen Worten, der Spielraum, den die elliptische Gestalt der Erdbahn hat, ist so beschaffen, daß der gegenwärtig ungefähr 600000 Meilen betragende Unterschied zwischen der größten und kleinsten Entfernung auf der einen Seite bis zum vierten Theil oder bis zu 150000 Meilen abnehmen, auf der anderen bis zu 750000 Meilen zunehmen kann, ohne daß die Erdbahn je weder in einen Kreis noch in eine langgestreckte Ellipse übergehen könnte.

Ehe wir von der Aenderung in der Lage der Apsidenlinie sprechen, müssen wir die Störung der Erdaxe betrachten. Wir haben im zweiten Abschnitt gesehen, daß die Axe eines Kreisels, in Folge einer Störung des Gleichgewichts um diese Axe her, ihre Richtung ändert, so daß sie (anstatt genau senkrecht zu bleiben) selbst eine kegelförmige Bewegung um die senkrechte Lage annimmt. Diese Drehung der Axe geht aber viel langsamer vor sich, als die des Kreisels, und in entgegengesetzter Richtung von derselben; wenn der Kreisel sich von rechts nach links dreht, so dreht sich die Spindel von links nach rechts. Die Störung des Gleichgewichts kann durch einen Stoß hervorgebracht werden und ist dann vorübergehend, aber auch durch ein Uebergewicht auf einer Seite, welches alsdann fortwährend wirkt. Ganz ähnlich verhält es sich mit der Störung der Erdaxe. Was ist aber hier das einseitige Uebergewicht? Die Anziehung von Sonne und Mond auf die verschiedenen Theile der Erde, welche wegen der Abweichung der Erde von der Kugelgestalt und wegen der schiefen Stellung der Axe zur Ekliptik nicht gleichmäßig ist. Um dieß einigermaßen einzusehen, erwäge man erst-

lich, daß die beiden genannten Körper hiebei als in der Ebene der Ekliptik befindlich angesehen werden dürfen. Die Sonne steht in der That stets wirklich darin, der Mond aber kehrt in so kurzen Zeiträumen zur Ekliptik zurück, und weicht von derselben so wenig nach beiden Seiten aus, daß es für die fragliche Wirkung fast so gut ist, als wenn er ebenfalls beständig in der Ekliptik stünde. Man erwäge ferner, daß wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre, die beiden Hälften, in welche sie durch die Ekliptik getheilt wird, stets gleichmäßig zu jedem in der Ekliptik befindlichen Körper liegen würde. Dasselbe wäre auch noch der Fall, trotz der Abplattung der Erde, wenn die Erdaxe senkrecht auf der Ekliptik stünde; sie würde dann diese Richtung stets beibehalten, und stets nach demselben Fixstern hinweisen. Da aber die Erdaxe einen Winkel von $66^1/_2$ Grad mit der Ekliptik oder einen Winkel von $23^1/_2$ Grad mit jener senkrechten Richtung macht, so zieht ein in der Ekliptik befindlicher Weltkörper den oberen und den unteren Theil des Erdellipsoids ungleich an, und es ist gerade so, als ob an dem Theil, welcher dem anziehenden Körper zugekehrt ist, ein Uebergewicht sich befände. Die Folge muß daher die sein, daß die Erdaxe, anstatt sich parallel zu bleiben, eine langsame kegelförmige Bewegung in der Richtung von Osten nach Westen (d. h. derjenigen der Axendrehung entgegengesetzt) um die zur Erdbahn senkrechte Richtung annimmt, oder was dasselbe ist, daß der Erdäquator, welcher seine Lage natürlich mit der Axe zugleich ändert, sich in ostwestlicher Richtung entlang der Ekliptik verschiebt.

Dieß findet in der That statt, es ist die schon von den alexandrinischen Astronomen in ihren Folgen wahrgenommene Erscheinung der sogenannten Präcession, und wir wollen nun die etwas schwierige mechanische Vorstellung von der Sache verlassen, um die Thatsache selbst mit ihren Folgen näher kennen zu lernen. Der Aequator verschiebt sich also, entgegengesetzt der Richtung von beiden Bewegungen der Erde, wofür man auch kurzweg rückwärts zu sagen pflegt, entlang der Ekliptik, aber nur um etwas über 50 Sekunden oder um den 72. Theil eines Grads in einem Jahr. Um denselben kleinen Winkel

ändert die Erdaxe jährlich ihre Richtung im Raum, so daß sie also nach einem Jahre auf einen Punkt des Himmels hinweist, der nur um 50 Sekunden von demjenigen verschieden ist, auf welchen sie das Jahr zuvor hingewiesen hatte, und eben deßhalb konnten wir oben behaupten, daß der jährliche Kreislauf der Erscheinungen fast ganz so von statten gehe, wie wenn die Erdaxe sich parallel bliebe. Allein im Verlauf der Jahrhunderte wird auch diese Veränderung sehr merklich, weßhalb schon die Alten dieselbe wahrnehmen konnten, nämlich an der veränderten Lage der Fixsterne gegen Aequator und Pol. Der Polarstern, welcher heutzutage nur 1½ Grad vom Pol absteht, war zur Zeit Hipparchs, des berühmten Entdeckers der Erscheinung, von welcher wir sprechen, etwa 12 Grad vom Pol entfernt, und konnte damals auf jene Benennung noch keinen Anspruch machen. Bei der kegelförmigen Bewegung der Erdaxe um die zur Erdbahn senkrechte Richtung weist sie nämlich allmälig auf andere und andere Sterne hin; alle diejenigen Sterne, welche nordwärts um 60 bis 70 Grad von der Ekliptik abstehen, kommen der Reihe nach daran, die Rolle des Polarsterns zu spielen, bis nach mehr als 25 Jahrhunderten die Erdaxe einen vollen Umlauf gemacht hat und in die vorigen Richtungen zurückkehrt. Man kann daher die Polarsterne für verschiedene Zeitpunkte angeben; so war ums Jahr 2700 vor Christus der hellste Stern im Drachen Polarstern, der jetzige wird dem Pol am nächsten stehen (kaum ½ Grad entfernt) ums Jahr 2100 nach Christus, und ums Jahr 14000 unserer Zeitrechnung wird der helle Stern in der Leyer, dessen Polabstand jetzt 52 Grad beträgt, nahezu als Polarstern gelten können. Man muß übrigens hiebei nicht vergessen, daß auch die Ekliptik ihre Lage ändert, und daß also die kegelförmige Bewegung der Erdaxe auch um keine ganz feste Axe vor sich geht; eben deßhalb nannten wir vorhin auch die Sterne, welche 60 bis 70 Grad nordwärts von der Ekliptik stehen, als Polarsternkandidaten, denn ohne die Rücksicht auf die Aenderungen der Schiefe der Ekliptik kämen blos diejenigen in Betracht, deren Abstand von der Erdbahn nur nahe 66½ Grad beträgt.

Die wichtigste Folge dieser Veränderung aber ist das Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen selbst, und die dadurch bedingte Verschiedenheit des bürgerlichen Jahrs von der wirklichen Umlaufzeit der Erde, oder des tropischen Jahrs und des Sternjahrs. Die Durchschnittspunkte des Aequators mit der Ekliptik bewegen sich rückwärts in der Ekliptik, indem der Aequator ihr entlang sich von Osten nach Westen verschiebt; diese Punkte heißen die Nachtgleichenpunkte (Frühlingspunkt und Herbstpunkt), weil die allgemeine Tag- und Nachtgleiche stattfindet, wenn die Sonne in jenen Punkten, d. h. senkrecht über dem Erdgleicher steht, und man spricht daher kurzweg von dem Zurückweichen der Nachtgleichenpunkte, welches jährlich 50 Sekunden beträgt, und einen vollen Umfang (360°) nach mehr als 25 Jahrhunderten ausmacht. Die Wiederkehr der Frühlingsnachtgleiche nun und damit die der Jahrszeiten überhaupt, wornach sich das bürgerliche Jahr richten muß, findet statt, wenn die Erde bei der westöstlichen Bewegung um die Sonne zum Frühlingspunkt zurückgekehrt ist. Da ihr aber dieser Punkt ostwestlich, wenn auch nur um 50 Sekunden, entgegenrückt, so braucht sie zu der betreffenden Rückkehr keinen vollen Umlauf, sondern um die Zeit weniger, welche sie zu Durchlaufung jener 50 Sekunden nöthig hat, d. h. da sie in einem Tag fast einen Grad zurücklegt, den 72. Theil eines Tags oder 20 Minuten Zeit. Daß somit die astronomischen Jahreszeiten von einem Jahr zum andern um 20 Minuten früher eintreten, dieß versteht man unter dem Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen, und um so viel dauert das tropische oder das nach der Wiederkehr der Jahreszeiten sich richtende bürgerliche Jahr kürzer, als die wirkliche Umlaufzeit oder das Sternjahr, d. h. die Zeit, in welcher die Sonne wieder in dieselbe Stellung zu den Fixsternen zurückkehrt. Jener ungeheure Zeitraum, in welchem der Frühlingspunkt seinen Umlauf in der Ekliptik (oder die Erdaxe ihren Umlauf um die Axe der Erdbahn) vollendet, zählt also ein tropisches Jahr mehr als Sternjahre (ungefähr auf dieselbe Art wie das Jahr einen Sterntag mehr zählt als Sonnentage).

In Folge der planetaren Störungen ändert sich endlich auch die Lage der Apsidenlinie oder der großen Axe der Erdbahn dergestalt, daß dieselbe während eines vollen Umlaufs der Erde (Sternjahr) nur um 11 Sekunden fortrückt, und zwar in derselben westöstlichen Richtung, in welcher die Bewegung der Erde vor sich geht. Daher dauert die Wiederkehr der Sonnenferne länger als das Sternjahr um die Zeit, welche die Erde braucht um jene 11 Sekunden, oder den 327sten Theil eines Grads zurückzulegen, d. h. ungefähr den eben so vielten Theil eines Tags oder 4 Minuten Zeit. Da nun das bürgerliche Jahr, welches die Wiederkehr der Jahrszeiten bringt, bereits 20 Minuten kürzer als das Sternjahr ist, so verspätet sich die Wiederkehr der Sonnenferne in dem bürgerlichen Jahr (dem Jahr schlechtweg) um ungefähr 24 Minuten, was in dem Zeitraum von fast 60 Jahren einen Tag ausmacht. Da die Sonnenferne gegenwärtig auf den 1. Januar fällt, so tritt sie nach etwa 60 Jahren um dieselbe Stunde des 2. Januars ein, und so geht es fort, so daß es in dem Zeitraum von mehr als 21 Jahrhunderten allmälig auf alle Tage des Jahrs gefallen und wieder zum 1. Januar zurückgekehrt ist. Wir haben im dritten Abschnitt gesehen, was für Verhältnisse der Erde von der gegenwärtigen Lage der Apsidenlinie bedingt sind, namentlich z. B. daß das Sommerhalbjahr bei uns eine Woche länger dauert als auf der südlichen Halbkugel. Nach etwa 11½ Jahrhunderten wird es hiernach gerade umgekehrt seyn; nach etwa 5000 Jahren aber werden die Apsiden in die Zeit der Tag- und Nachtgleichen fallen, so daß Winter- und Sommerhalbjahr auf beiden Halbkugeln gleichlang dauert. Mit den Zeitpunkten der Sonnennähe und Sonnenferne ändern sich auch die Zeiten, wo die wahre und mittlere Zeit zusammentrifft, gänzlich; diese Aenderung geht aber so langsam vor sich, daß man viele Jahre hindurch die nämlichen Angaben brauchen kann, um aus beobachteten Sonnenhöhen die mittlere Zeit zum Richten der Uhren herzuleiten.

Weiter in diesen wichtigen Gegenstand der Störungen einzugehen, denen die Bewegung der Erde in Folge der allgmeinen

Massenanziehung unterworfen ist, ist hier nicht der Ort. Wir erwähnen nur noch, daß die Erdaxe neben der ausführlich erörterten kegelförmigen Bewegung noch eine Schwankung von kürzerer Periode zeigt, die sogenannte Nutation, auf die wir beim Mond nochmals zurückblicken wollen. Es galt hauptsächlich die Folgen davon für das Leben hervorzuheben, und man muß gestehen, daß dieselben nicht sehr erheblich sind und weit entfernt, eine Umwälzung in den Naturverhältnissen unseres Planeten hervorzubringen. Dieß hat aber seinen Grund darin, daß erstlich die drei (oder vier) wichtigsten Elemente ganz unverändert bleiben, nämlich die Dauer des Sternjahrs und des Sterntags, die Größe der mittleren Entfernung von der Sonne und die Lage der Drehaxe im Erdkörper; zweitens daß die Elemente zweiten Rangs innerhalb sehr enger Gränzen sich ändern, die Schiefe der Ekliptik und die Excentricität der Erdbahn; drittens daß die Aenderung derjenigen Elemente, welche, wie die Richtung der Erdaxe im Raum und die Lage der Apsidenlinie zwar gänzlich sich ändern, doch so langsam vor sich geht. Wenn nämlich auch ein viel rascherer Umlauf der Apsidenlinie, nicht eben sehr bedeutende Folgen hätte wegen der Kleinheit der Excentricität, so wäre dagegen bei einem beschleunigten Umlauf der Drehaxe auch der Jahreszeitenwechsel ein ganz anderer, ja er würde völlig aufhören, wenn der Umlauf der Axe in einem Jahr stattfände oder gleichen Schritt mit dem Umlauf der Erde um die Sonne selbst hielte.

Wir haben der Erdaxe, der Apsidenlinie, der Bahnebene die kleinen Bewegungen selbst zugeschrieben; Jedermann wird einsehen, daß das, was sich bewegt, eigentlich stets die Erde selbst ist. Der Erde werden neben ihren zwei Hauptbewegungen, vermöge deren sie um die Sonne rollt, eine Menge anderer Bewegungen mitgetheilt, die sich in kürzeren oder längeren Zeiträumen mit der Hauptbewegung ausgleichen; diese gehen zum Theil so vor sich, wie wenn die Bahnebene, die Apsidenlinie, die Drehaxe sich bewegte, und zwar in der angegebenen Weise. Man bemerke endlich noch, ehe wir zu einem anderen

Gegenstand übergehen, den merkwürdigen Zusammenhang in den Umständen, welche die Axendrehung der Erde betreffen. Die Axendrehung plattet die Erde nahezu zur Figur eines Rundellipsoids ab; diese Gestalt bedingt die Dauerhaftigkeit dieser Drehaxe im Erdkörper oder die Unwandelbarkeit der geographischen Breiten, wie schon im zweiten Abschnitt gezeigt worden ist; dieselbe Gestalt hat aber auch die Folge, daß die Anziehung von Sonne und Mond auf die verschiedenen Theile des Erdellipsoids ungleichmäßig wirkt, woraus die Präcession entspringt.

Wäre nun die Erde ein gänzlich starrer Körper ohne Luft und Wasser, so wäre auch die Bewegung der Erde im Ganzen der einzige Einfluß, den die Anziehungen der Weltkörper auf sie haben könnten. Anders ist es aber mit der flüssigen Hülle der Erde bei der Zusammenhangslosigkeit und leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen. Bewegungen des Meeres aber in Folge der Anziehung der Sonne können wiederum nur dadurch entstehen, daß die Sonne die ihr näher befindlichen Wassermassen auf der ihr zugekehrten Oberfläche stärker anzieht, als den Schwerpunkt oder als die Erde im Ganzen, und diese stärker als die Wassermassen auf dem von der Sonne abgekehrten Theil der Erdfläche. Wenn nun schon die Anziehung der Erde auf ihre Oberfläche weit stärker ist als die ganze Anziehung der Sonne in der großen Entfernung, — denn bei gleicher Entfernung des angezogenen Gegenstands wäre zwar die Anziehung der Sonne 350000mal stärker, in der 23000mal größeren Entfernung ist sie aber andrerseits 23000 · 23000 oder 529 Millionenmal, beides verbindend also ungefähr 1500mal schwächer — so ist der Unterschied der Anziehung vollends sehr klein, welche die Sonne auf die Oberfläche und den Mittelpunkt der Erde äußert, er beträgt kaum den 20millionsten Theil von der irdischen Schwere an der Erdoberfläche, oder nur etwa den 12000sten Theil von der die ganze Erde bewegenden Sonnenkraft. Dieser Theil ihres Anziehungsvermögens ist es, womit die Sonne das Meer in Bewegung setzt, und zwar in der Art, daß die Wassertheilchen sowohl auf der zur Sonne hingewandten,

als auch auf der von ihr abgewandten Seite von der Erdmitte sich zu entfernen und daß sie überdieß, der Erdfläche selbst entlang, dort nach dem Punkt, welcher die Sonne senkrecht über sich hat, hier nach dem gerade entgegengesetzten Punkt (dem Antipodenpunkt des vorigen) sich hinzubegeben streben, auf der Tagseite also nach dem der Sonne zunächst befindlichen, auf der Nachtseite nach dem von der Sonne entferntest liegenden Punkt der Erdfläche. Dieß begreift man nach obigem daraus, daß die Sonne die Wasser auf der Tagseite stärker, diejenigen auf der Nachtseite schwächer anzieht, als die Erdmitte, weßhalb so zu sagen jene der Erdmitte bei dem Fall nach der Sonne voraneilen, diese aber dabei zurückbleiben. So muß der Erfolg von der Anziehung des Meeres durch die Sonne der sein, daß das Wasser demjenigen Meridian, in welchem die Sonne sich eben befindet, zuströmt, und in seiner ganzen Ausdehnung, unten wie oben, am stärksten anschwillt (Fluthmeridian), während es in dem 90 Grad davon abstehenden Meridian rund herum am niedrigsten steht (Ebbemeridian). Die Wasserfläche der Erde zerfällt in diesem Augenblick in vier Viertel (durch die beiden Meridiane, welche von den zuvor genannten um 45 Grad abstehen); in den beiden sich entgegenstehenden Winkeln, welche in der Mitte vom Fluthmeridian halbirt werden, ist Wasser aus den beiden anderen zugeströmt und hat sich ein Fluthberg gebildet, in den beiden andern, aus denen Wasser abgeflossen ist, aber ein Ebbethal. Bedenkt man jetzt noch, daß zufolge der Axendrehung die Sonne von einem Meridian zum anderen fortrückt, so verändert sich diese Wasservertheilung von Augenblick zu Augenblick, und die Fluthwelle umkreist die Erde von Osten nach Westen in 24 Stunden. So gestaltet sich die Erscheinung, so weit sie von der Sonne allein herrührt.

Allein eine ganz ähnliche, nur dritthalbmal stärkere Wirkung auf die Meere hat der Mond. Seine Wirkung ist hierin stärker als die der Sonne, obwohl die anziehende Kraft der Sonne auf die Erde im Ganzen 160mal größer ist als die des Mondes auf die Erde, weil es sich nur um den Unterschied der Anziehungskräfte auf Erdfläche und Erdmitte handelt; dieser

Unterschied war aber bei der Sonne der 12000ste Theil ihrer Gesammtkraft, beim Mond ist es dagegen der 30ste, wie man durch eine ähnliche Rechnung findet, wie oben. Das Ergebniß derselben kann man, was die Zahlen 12000 und 30 nahe legen, auch so ausdrücken, so oft der Durchmesser der Erde in der Entfernung des anziehenden Weltkörpers enthalten ist, der so vielte Theil ist der vielbesprochene Anziehungsunterschied von der Gesammtanziehung des Weltkörpers; die Sonne ist nämlich 12000, der Mond 30 Erddurchmesser von der Erde entfernt. Beträgt also die Sonnenfluth an irgend einem Ort der Erde 2 Fuß, so beträgt die Mondsfluth ebendaselbst 5 Fuß. Stünden nun Sonne und Mond stets zu gleicher Zeit in jedem Erdmeridian, so hielte der Gang beider Fluthwellen stets gleichen Schritt, die beiden Wirkungen würden sich stets summiren (so daß also die Fluth an jenem Erdort stets 7 Fuß betrüge), und der Zeit nach zusammentreffen. Allein dieß ist bekanntlich nicht so, die Fluthwelle des Monds und die der Sonne umkreisen die Erde nicht gleichmäßig, nicht einmal in gleichen Zeiten (die des Monds braucht im Allgemeinen eine Stunde länger); sie treffen nur zusammen um die Zeit des Vollmonds und Neumonds (wo beide Gestirne zugleich im Meridian stehen, wo deßhalb die stärksten Fluthen, die Springfluthen, Statt finden), während es sich um die Zeit der Viertel entgegengesetzt verhält, indem die Mondsfluth mit der Sonnenebbe zusammentrifft und durch sie vermindert wird (Nippfluth, sie beträgt an gedachtem Ort 3 Fuß). Vermöge der überlegenen Kraft des Monds in der Flutherregung richtet sich aber die Erscheinung an jedem Ort vorzugsweise nach dem Stande des Monds zu dem Meridian dieses Orts. Bedenkt man nun noch, daß die veränderliche Stellung beider Gestirne zur Erde im Ganzen, nach Entfernung sowohl als nach der Abweichung vom Aequator, von Einfluß ist auf Zeit und Höhe der Fluthen, so kann man ermessen, wie verwickelt die Erscheinung ist, selbst so lange man die ganze Erdfläche als mit Wasser bedeckt sich vorstellt. Dazu kommt aber die mannigfaltige Vertheilung von Wasser und Land auf der Erdfläche; von dem Einfluß derselben auf die Fluthbewegung der Meere

(welcher die Gravitationsrechnung nicht mehr folgen kann) so wie von der (geologischen) Rückwirkung dieser Bewegung auf die Vertheilung von Wasser und Land wird anderswo die Rede sein müssen.

Ein Umstand in der kosmischen Theorie der Meeresgezeiten ist aber hier noch zu erwähnen. Wenn wir nämlich die nähere Betrachtung ungewöhnlich hoher Fluthen und dadurch verursachter Ueberschwemmungen der Schilderung der Erdfläche überlassen, so wird die bloße Erwähnung hievon die Frage hervorrufen, wodurch überhaupt das Gleichgewicht der Meere im Allgemeinen gesichert ist, dergestalt, daß keine weitgreifende Ueberfluthung des Landes durch die gewaltigen Fluthwellen zu besorgen ist. Auch hierauf hat die Mathematik geantwortet. Das Meer wird in den Höhlungen, welche es jetzt einnimmt, bei allen Schwankungen erhalten, weil seine Dichte geringer ist, als die mittlere Dichte der Erde, unter der Voraussetzung nämlich, daß seine Tiefe unbeträchtlich ist gegenüber den Abmessungen der Erde, eine Voraussetzung, welche in der That Statt findet. Ein Quecksilbermeer also könnte sich nicht im Gleichgewicht erhalten, d. h. seine Fluthen würden sich stets über die ganze Erdfläche ergießen, wofern es nicht zugleich eine im Vergleich mit dem Erdhalbmesser sehr beträchtliche Tiefe hätte, wodurch übrigens auch die mittlere Dichtigkeit der Erde eine ganz andere würde.

Es kann kein Zweifel darüber walten, daß auch das ungleich tiefere Luftmeer der Erde ähnlichen Einflüssen von Sonne und Mond ausgesetzt ist, oder daß es auch eine atmosphärische Ebbe und Fluth gibt. Allein die Rechnung, welcher Laplace jene Einflüsse unterworfen hat, sowie die auf das Meer, wo die theoretischen Ergebnisse so schön mit den Beobachtungen übereinstimmen, hat gezeigt, daß die Wirkung unmerklich gering ist; das Ergebniß war, daß die vereinte Anziehung beider Gestirne im günstigsten Fall am Aequator selbst nur eine Aenderung im Barometerstand zur Folge haben kann, welche den 50sten Theil einer Linie beträgt. Zwar kennt man tägliche Veränderungen des Luftdrucks, welche, da wo sie am stärksten sind, am Aequator, zwei bis drei Zehntheile einer Linie

betragen, allein diese richten sich ganz nach der Sonne und hängen daher ohne Zweifel mit dem Gang der täglichen Erwärmung durch die Sonne zusammen. Ueberhaupt sind bei der Lufthülle die Veränderungen in Folge der wechselnden Temperatur weit die überwiegenden, gegen welche die Einflüsse der äußeren (kosmischen) Massenanziehung so gut als gänzlich verschwinden. Wir kommen daher auf den Standpunkt, die atmosphärischen Veränderungen, die man unter dem Namen Witterungswechsel zusamenfaßt, vielmehr irdischen Wechselwirkungen in Verbindung mit dem Einen kosmischen Einfluß der Wärmestrahlung von Seiten der Sonne zuzuschreiben, und den Einfluß anderer Weltkörper, sei es durch Massenanziehung oder durch andere Kraftäußerungen theils zu läugnen, theils zu bezweifeln. Wir läugnen jedenfalls den Einfluß des Mondes auf die Witterung, so wie er im Volksglauben vorgestellt wird, welcher eben nur vom Eintritt der Hauptlichtgestalten des Mondes entscheidende Witterungswechsel erwartet. Dieser ist dem Kosmos so fremd, wie die gesammte Astrologie, von welcher er in der That ein letzter Rest ist. Hier mag nur bemerkt werden, daß, wenn der wetterumgestaltende Einfluß des Vollmonds oder Neumonds die Folge einer atmosphärischen Springfluth sein sollte, man doch vor allem tägliche Fluthen und Ebben der Luft beobachten müßte (d. h. man müßte vorher die Sache selbst in der Erfahrung nachweisen, ehe man kleine Unterschiede in dieser Sache kennen lernte); dieß ist aber nicht der Fall, im Einklang mit der Theorie, welche als Größtes in der Sache selbst die unmerklich kleine Größe von 0,02 Linien fürs Barometer gibt, wozu noch kommt, daß das Wetter eben da, wo die atmosphärischen Mondsfluthen am stärksten sein müßten, in der Tropenzone gänzlich vom Mond unabhängig ist und sich in der That aus den obengenannten Einflüssen vollkommen herleiten läßt, wie wir im vierten Buch sehen werden. Ferner bemerke man, daß, wenn die mit der Lichtstrahlung des Mondes allerdings ohne Zweifel verbundene Wärmestrahlung es sein sollte, diese wiederum so gering ist, daß sie an keinem wärmemessenden Werkzeug bis jetzt beobachtet werden konnte, übrigens zum

Vorschein hätte kommen müssen, wenn sie auch nur den hundertsten Theil von einem Grad des gewöhnlichen Thermometers betrüge. Endlich ist noch zu erwähnen, daß das Mondlicht allerdings eine chemische Einwirkung auf die empfänglichsten Stoffe, wie Chlorsilber, gezeigt hat, und daß man auch neuerdings einen schwachen Einfluß des Mondes auf die Magnetnadel bemerkt haben will, welcher aber z. B. von dem eines Nordlichts viele hundertmal überwogen wird.

Das Bisherige enthält in der That Alles, was der Kosmos heutzutage von den kosmischen Einflüssen sagen kann, unter welchen die Naturverhältnisse der Erde stehen. Es ist aber auch in der That nicht wenig; die bahnerhaltende Massenanziehung der Sonne und ihre Licht-Wärmestrahlung sind wahrlich zwei der mächtigsten Hebel des Erdenlebens, wozu noch die mannigfaltigen kleinen und langsamen Veränderungen kommen, welche wir unter dem Namen der Störungen kennen gelernt haben, und die großartige, in mehr als einer Beziehung bedeutsame, fortwährende Erregung der Meere. Wir haben jetzt noch eine kosmische Beziehung der Erde zu erwähnen, von welcher aber kaum noch ein in ihr Leben eingreifender Einfluß auch nur geahnt werden kann, es ist die fortschreitende Bewegung der Sonne im Weltraum mit ihrem ganzen System, an der auch die Erde Theil nimmt, wodurch sie, nicht beschränkt auf den Raum ihrer Bahn um die Sonne, der mehr als 42 Millionen Meilen im Durchmesser hat, in immer andere und andere Regionen des Weltraums gelangt. Wohl hat man auch hievon schon allerhand Einflüsse erwartet, die sich in athmosphärischen und anderen Verhältnissen geltend machen dürften, allein wir verzichten auf solche um so eher, als uns die Thatsache selbst merkwürdig genug erscheint.

Das Fortrücken der Sonne ist jetzt Thatsache. Es ist uns schon wahrscheinlich genug, weil auch sie ein frei im Weltraum schwebender Körper ist, es erscheint uns als eine gebieterische Forderung des Gravitationsgesetzes, es ist neuerdings durch Beobachtungen in den Bewegungen der Sterne nachgewiesen, so gut wie die Bewegung der Erde um die Sonne. Wenn die Massenanziehung das ist, was sie ist, so müssen sich auch die

großen Körper, die Sonnen des Weltraums, gegenseitig anziehen, und sich Bewegungen im Weltraum mittheilen. Daß in der That diese Weltkraft auch in der Sternenwelt waltet, das haben die Doppelsterne wiederum thatsächlich gezeigt, von denen wir im nächsten Buche Mehreres zu erzählen haben. Ohne Zweifel steht daher auch die Sonne mit den Sternen im Gravitationsverband; das Wie desselben aber ist noch so gut als unbekannt, so manche Anhaltspunkte dafür auch bereits vorhanden sind. Außer Zweifel ist aber, daß die Sonne wirklich fortrückt und in welcher Richtung die Bewegung gegenwärtig Statt findet. Zu erkennen war dieß an gemeinsamen, scheinbaren Bewegungen der Sterne, nämlich daran, daß die Sterne in der Gegend des Himmels, nach welcher wir uns gegenwärtig mit der Sonne hinbewegen, scheinbar auseinander rücken, gemeinschaftlich von dem Punkt sich entfernend, dem die Sonne sich nähert, in der entgegengesetzten aber scheinbar zusammenrücken, demjenigen Punkt des Himmels gemeinschaftlich sich nähernd, von dem sich die Sonne geradezu entfernt. Diese Erscheinung ist schon von dem älteren Herschel, gründlicher noch neuerdings von Argelander beobachtet. Die Beobachtung hatte aber große Schwierigkeit aus zwei leicht zu ermessenden Gründen. Einmal haben auch sämmtliche Sterne eben so gewiß ihre eigenen Bewegungen wie die Sonne, es galt also diese von der blos scheinbaren, durch die Ortsveränderung des Beobachters erzeugten Bewegung zu unterscheiden, und dieß konnte eben durch Wahrnehmung einer vielen Sternen (in angedeuteter Weise) gemeinsamen Bewegung geschehen. Die andere Schwierigkeit ist aber die außerordentliche Kleinheit, in der uns alle Sternbewegungen wegen ihren ungeheuren Entfernungen selbst noch während größerer Zeiträume erscheinen müssen. Wenn diese Bewegungen auch in einem oder in einigen Jahren sehr große Räume umfassen, so sind dieselben, aus unserer Entfernung beobachtet, doch nur sehr klein, und deßhalb ist auch der Name „Fixsterne" erst seit etwa hundert Jahren durch die Erfahrung selbst widerlegt worden. Was nun die Beobachtungen mit überwiegender Wahrscheinlichkeit ergeben haben, ist dieß, daß die Sonne im laufenden Jahrhundert nach einem Punkt im Sternbild des Herkules

links von dem hellen Stern der Krone sich hinbewegt. Dieß ist aber auch Alles; denn was man von hier aus weiter über den wahrscheinlichen Mittelpunkt dieser Bewegung und über das Sternsystem, von welchem die Sonne ein Glied wäre, geschlossen hat, gehört noch keineswegs ins Gebiet der Thatsachen.

Wie also der Mond um die Erde sich bewegt und mit dieser um die Sonne dergestalt, daß seine jährliche Laufbahn um die der Erde wellenförmig sich herschlingt, nach entgegengesetzten Seiten von derselben ausbiegend: so schlingt sich die Erdbahn um diejenige her, in welcher die Sonne um einen noch unbekannten Mittelpunkt sich bewegt. Und so häufen sich überhaupt Umläufe auf Umläufe (epicycloidische Bewegung). Welch eine verwickelte Häufung von Umläufen bildet die Bewegung des einzelnen Erdorts, von welchem wir sofort den uns überhaupt zugänglichen Theil des Weltalls in der Vogelperspective aufnehmen wollen! So durchläuft z. B. Stuttgart täglich seinen Parallel von ungefähr 4000 Meilen im Umfang, legt zugleich mit der ganzen Erde auf dem dritthalbhundert Millionen Meilen betragenden Weg um die Sonne ungefähr 300000 Meilen zurück, überdieß endlich mit dem ganzen Sonnensystem eine noch unbekannte Strecke um einen noch unbekannten Mittelpunkt. Wenn man schon Näheres hierüber behaupten zu können glaubte, wenn z. B. Struve angibt, die fortschreitende Bewegung des Sonnensystems betrage jährlich etwas über $1^3/_5$ Sonnenweiten oder zwischen 29 und 38 Millionen Meilen, oder wenn Mädler gar den Mittelpunkt nicht nur, sondern selbst die Umlaufszeit und die bewegende Kraft herausbringt, wornach die Sonne um den Centralstern Alcyone des Siebengestirns in einer Entfernung von 170 Sternweiten mit einer Geschwindigkeit von 8 Meilen in der Sekunde (doppelt so groß, als die Geschwindigkeit der Erde um die Sonne) in der Zeit von mehr als 18 Millionen Jahren unter dem Einfluß einer anziehenden Kraft sich bewegte, welche die der Sonne 117 Millionenmal überträfe: so beruht dieß theils auf reinen Hypothesen, theils auf Ueberschätzung der vorliegenden astronomischen Beobachtungen, und verdient gar keinen Glauben.

So viel ist gewiß, daß die Ursache von der Bewegung un-

seres Sonnensystems in der Gravitation der Sonnen gegen einander liegen muß, und daß dadurch die Erde wiederum ein Glied eines höheren Systems ist. Daß überhaupt die Sterne mannigfaltige Gravitationssysteme bilden, welche auf mannigfaltige Weise einander übergeordnet sein mögen, wer möchte daran zweifeln? Aber wer vermöchte auch zur Stunde diese Systeme verschiedener Ordnungen anzugeben, namentlich mit welchen Sternen die Sonne etwa zunächst ein Sternsystem erster Ordnung bildet, wie sich dann dieses mit anderen derselben Ordnung wieder zu einem höheren System, einem System zweiter Ordnung gruppirt, wie weit diese Gruppirung endlich fortgeht? Zur Zeit läßt sich, abgesehen von den physischen Doppelsternen und etwa noch ein paar größeren Gruppen, durchaus nicht angeben, welche Sterne gerade mit einander in einem besonderen Gravitationsverband stehen, um Sondersysteme innerhalb der Fixsternwelt zu bilden nach Art unserer Mondenwelten, noch läßt sich neben solchen theilweisen Verbindungen ein allgemeiner Verband der Fixsterne zu einem großen Sternsystem nachweisen, höchstens vermuthen. Hinsichtlich der Sonne (und somit zugleich hinsichtlich der Erde) kann man etwa noch zweierlei mit einiger Sicherheit behaupten. Einmal, daß die Sonne mit keinem anderen Stern in einer Doppelsternverbindung steht, da sie hiefür von allen Nachbarsternen zu weit entfernt zu sein scheint, sowie daß sie mit ihren Nachbarsonnen kein kleineres Sondersystem bildet, da hiefür die bis jetzt bekannten Bewegungen zu groß zu sein scheinen. Alsdann aber kann man behaupten, daß die Sonne jedenfalls ein Glied eines ungeheueren Ganzen ist, zu dem alle uns rings vereinzelt und zerstreut umgebenden Sterne gehören, aber auch die sogenannte Milchstraße, eines Ganzen, welches sich entschieden aus dem übrigen Weltall, so weit wir dasselbe übersehen, aussondert und welches wir daher auch unser Sternsystem oder unsere Sternschicht dem heutigen Gebrauche gemäß nennen werden. Womit aber keineswegs gesagt wird, daß die Sonne ein unmittelbares Glied dieses mächtigen Sternsystems, oder daß es ein System erster Ordnung sei. Wir behalten aber alles Weitere hierüber dem zweiten Buche vor, oder der Naturgeschichte des Himmels, zu der wir nun übergehen.

Zweites Buch.

Naturgeschichte des Himmels.

Oberfläche; Sonnenflecken, Axendrehung, Lichthülle und Atmosphäre der Sonne. — Die Planetenregionen und die Planetennatur; die innere, mittlere und äußere Planetengruppe, durchgreifende Verschiedenheiten und wesentliche Uebereinstimmungen der Planeten in Bahnen, Axendrehungen, Massen und Oberflächen; Planetenatmosphären, Marsflecken, Jupitersstreifen. — Die Sondersysteme und die Mondsnatur; der Saturnsring. — Die Kometennatur und die kosmischen Polarkräfte; Bahnen Massen, Störungen der Kometen; Stoff der Kometen und seine Ausströmungen. — Bau und Ursprung des Sonnensystems; Alleinherrschaft der Sonne, Grundebene und Gränzen des Sonnensystems; die Laplacesche Hypothese über den Urzustand und die Planetenbildung, die Olbers'sche über die Entstehung der Kleinplaneten.

VIII. **Die Region und das System der Erde.** — Der Erdmond; Besonderheiten seiner Bewegung um die Erde und seiner Axendrehung; Mangel an Luft, Wasser, Feuer und Leben; die Einzelheiten seiner Oberfläche. — Das Thierkreislicht, nicht zur Sonnenatmosphäre gehörig, sondern ein besonderer Nebelring in der Erdregion. — Die Asteroiden der Erdregion; Meteorsteine, Sternschnuppen und Feuerkugeln als zusammenhängende kosmische Erscheinungen; die periodischen Sternschnuppenschwärme.

V.

Der uns zugängliche Weltraum mit seiner Stofferfüllung.

Nachdem wir uns nun mit der Erde im Weltraum zurechtgefunden und die kosmischen Beziehungen der Erde, so weit sie bekannt sind, uns vorgehalten haben, gilt es nunmehr das kennen zu lernen, was bis jetzt im Weltraum von diesem Standpunkt aus beobachtet und erforscht worden ist. Dabei beginnen wir mit dem Allgemeinsten und steigen von da an wieder zu unserer Erde herab. Dieses Allgemeinste aber ist nicht das Weltall, denn von diesem als einem Ganzen haben wir keine erfahrungsmäßige Vorstellung und können keine haben, weil das Unendliche nur in der Idee, nicht aber in der Erfahrung sich erfassen läßt. Raum aber und Zeit und Materie sind nicht anders, denn als schlechthin unendlich zu denken; dieser Gedanke darf uns nie verlassen, wenn wir vom All sprechen. Es kann sich also vielmehr nur um ein begränztes Stück des Weltalls handeln, welches uns zugänglich ist, auch wenn wir unsere Augen mit den stärksten Gläsern bewaffnen, um den uns zugänglichen Theil des Weltraums, welcher in der Unendlichkeit wie ein Punkt verschwindet sammt Allem was er enthält. Die Gränzen unserer Weltraumsgegend sind aber durch die Entfernungen gesteckt, bis in welche Gegenstände sich wahrnehmen lassen, und die Wahrnehmbarkeit hat mit der Entfernung ihre Gränzen eben so sehr von Seiten der, wenn auch noch so bewaffneten Sehkraft, als von Seiten des Lichts, welches uns mit den Gegenständen vermittelt.

Mit was anderem können wir aber nun die Naturgeschichte des Himmels oder die Beschreibung des uns zugänglichen Welt-

raums beginnen als mit dem Licht, und in der That werden wir mit demselben auch die allgemeinste Stofferfüllung des Weltalls kennen lernen, so wie man umgekehrt den einen der wichtigsten Aufschlüsse über die Natur des Lichts aus dem Weltraum geholt hat. Es ist die allmälige Fortpflanzung des Lichts, eine Thatsache, welche wir vor Allem näher zu erläutern haben.

Eine der ersten Früchte des neuerfundenen Fernrohrs waren die vier Monde des Planeten Jupiter, und sie wurden alsbald der Gegenstand fleißiger Beobachtungen, zumal ihre Verfinsterungen durch den mächtigen Schatten des großen Planeten, da man darin ein passendes Mittel zur Bestimmung des Unterschieds der Uhrzeiten zweier Erdorte, mithin ihrer geographischen Länge erblickte. Es sind sehr häufige Ereignisse, der nächste Trabant z. B. tritt bei jedem seiner nur etwas über 1½ Tage betragenden Umläufe in den Jupitersschatten. Innerhalb der Zeit von 398 Tagen, also fast im Verlauf eines Jahrs, kommt Jupiter in alle mögliche Stellungen zur Erde in Beziehung auf die Sonne (Gegenschein, Zusammenschein und beide Geviertscheine); diesen entsprechen die verschiedenen Entfernungen dieses Planeten von der Erde (beziehungsweise die kleinste, die größte und zweimal die mittlere), und die letztere (im Betrag von 105 Millionen Meilen oder 5 Sonnenweiten) ist um den Halbmesser der Erdbahn oder um 1 Sonnenweite kleiner als die größte, und um eben so viel größer als die kleinste Entfernung Jupiters von uns. Nachdem nun die Gesetze der Bewegung bekannt geworden waren, pflegte man auch die Finsternisse der Jupiterstrabanten vorauszuberechnen, und da trat, zur großen Verlegenheit der Astronomen, der auffallende Umstand ein, daß diese Ereignisse immer um ein Beträchtliches später eintrafen, als die Vorausberechnung angab. Und zwar blieb sich die Verspätung nicht gleich, sondern durchlief während jener 398 Tage eine Reihefolge verschiedener Werthe, nämlich zwei mittlere (ungefähr 41 Minuten), einen größten (um 8¼ Minute größer als der mittlere) und einen kleinsten (um eben so viel kleiner als der mittlere Betrag der Verspätung). Die Hauptsache

über war, daß die kleinste Verspätung bei den Finsternissen um die Zeit des Gegenscheins, also bei der kleinsten Entfernung Jupiters von der Erde statt fand, die größte bei den Finsternissen um die Zeit des Zusammenscheins, also bei der größten, die mittlere aber zur Zeit der Geviertscheine oder bei der mittleren Entfernung Jupiters. Daraus folgte offenbar, daß die Verspätungen von den Entfernungen abhängen; aber eines Gedankenblitzes bedurfte es, um mit dem dänischen Astronomen Römer, zu Ende des 17. Jahrhunderts, auszusprechen, diese Abhängigkeit beruhe darauf, daß das Licht eine Zeit braucht, um eine gewisse Entfernung zu durchlaufen, und zwar, gemäß jenen Angaben, 8¹/₄ Minuten zu einer Sonnenweite. Wir sehen also den Trabanten, nachdem er bereits in den Jupitersschatten eingetreten ist, noch so lange, als das Licht, welches er im Augenblick des Eintritts aussendete, braucht, um bis in unsere Augen zu gelangen; und desgleichen sehen wir den Trabanten, nachdem er bereits wieder aus dem Schatten getreten ist, noch so lang nicht, als das Licht, das er im Augenblick des Austritts aussendet, Zeit braucht, um bis zur Erde sich fortzupflanzen. Brachte man nun diese Zeit nach Maßgabe der jedesmaligen Entfernung in Rechnung, so gehorchten die Finsternisse der Jupiterstrabanten der Vorausberechnung auf's Vollkommenste.

Diese außerordentliche Geschwindigkeit, vermöge der das Licht in einer Sekunde Zeit gegen 42000 Meilen zurücklegt (oder ungefähr ⁴/₅ von der Entfernung des Monds von der Erde), ist gleichwohl sehr mäßig für die ungeheuren Weiten der Fixsterne, und giebt hier zu merkwürdigen Betrachtungen Anlaß. Wir haben uns bereits überzeugt, daß auch der nächste Fixstern zum mindesten über 200000 Sonnenweiten entfernt sein muß, eine Entfernung, welche man deßhalb eine Sternweite zu nennen pflegt (als die Gränze, welche die wirklichen Entfernungen stets noch übertreffen). Von einem Weltkörper in dieser Entfernung brauchte also das Licht 200000mal länger als von der Sonne, um in unsere Augen zu gelangen, d. h. über drei Jahre, oder wir erhalten von dem-

selben stets Licht, welches seit mehr als drei Jahren unterwegs war. Wir sehen ihn daher stets so, wie er vor diesem Zeitraum war, jede von uns aus überhaupt sichtbare Veränderung, die mit ihm vorgeht, kommt erst nach drei Jahren zu unserer Erkenntniß, und wenn er heute plötzlich erlösche, so würden wir ihn noch drei Jahre hindurch mit seinem heutigen Glanz leuchten sehen. Wir haben uns aber ferner überzeugt, daß die verschiedenen Sterne auch sehr verschiedene Entfernungen haben müssen; wir haben schon Gebilde des Himmels erwähnt, gegen welche eine Sternweite selbst nur eine kleine Größe sein muß. Denken wir uns einen Stern in der noch mäßigen Entfernung von 200 Sternweiten, so braucht das Licht mehr als 6 Jahrhunderte von ihm zu uns, und wir sehen ihn also stets in seinem Zustand vor 600 Jahren. Es darf aber kaum bezweifelt werden, daß Vieles von dem, was uns das Fernrohr am Himmel zeigt, so weit entfernt ist, daß eben so viele Jahrtausende vergehen, bis das Licht von da zur Erde gelangt, ja bei manchen Gegenständen hat man schon an Millionen von Jahren gedacht. Daraus folgt, daß unser Blick, indem er in die unermeßlichen Weiten des Weltraums dringt, zugleich in altersgraue Zeiten zurückgeht, weiter zurück als alle geschichtlichen Denkmäler auf Erden. Es folgt ferner, daß wir Ungleichzeitiges am Himmel sehen, den einen Gegenstand so, wie er vor Jahrzehnten, den anderen so, wie er vor Jahrhunderten, und einen dritten so, wie er vor Jahrtausenden war. Wären uns alle diese Entfernungen wirklich bekannt, so könnten wir ein langes Verzeichniß von Jahrgängen bis weit über die Anfänge der Menschengeschichte hinaus anordnen und bei jedem die Weltkörper anmerken, die wir in dem Zustand sehen, welchen sie in diesen Jahrgängen hatten.

Ungefähr ein halbes Jahrhundert nach Auflösung des Räthsels, das die Jupiterstrabanten dargeboten hatten, wurde eine Erscheinung an den Fixsternen wahrgenommen, welche ebenfalls von der allmäligen Fortpflanzung des Lichts herrührt. Man bemerkte nämlich, daß das ganze Heer des Himmels die Erde auf ihrem Weg um die Sonne gleichsam begleitet, indem jeder

Stern eine kleine Ellipse gleichlaufend mit der Erdbahn zu beschreiben scheint. Sie ist sehr klein und konnte daher erst bei dem in der Mitte des vorigen Jahrhunderts erfolgten großen Aufschwung der astronomischen Beobachtungskunst gemessen werden; denn ihr größter Durchmesser wird nur unter dem winzig kleinen Sehwinkel von 40 Sekunden erblickt, er ist aber bei allen gleich groß, zum deutlichen Zeichen, daß die Bewegung blos eine scheinbare ist, herrührend von der jährlichen Bewegung der Erde, und ein Abbild derselben. Die merkwürdige Erscheinung war aber nicht parallactisch zu erklären, d. h. aus der scheinbaren Ortsveränderung, die von der Ortsveränderung des Beobachters herrührt. Denn diese müßte ja schon nach der Entfernung des beobachteten Gegenstands verschieden groß sein, mit anderen Worten, die parallactische Ellipse könnte nur bei gleichweit entfernten Sternen unter demselben Gesichtswinkel erscheinen, während die beobachtete bei allen die nämliche Länge hatte; überdieß aber müßte die parallactische Ellipse der Sterne ein Spiegelbild der Erdbahn sein, d. h. der Stern müßte dann am weitesten links von ihrem Mittelpunkt stehen, wenn die Erde von der Sonne am weitesten rechts steht; er müßte überhaupt immer an demjenigen Punkt seiner scheinbaren Bahn sich befinden, welcher dem entgegengesetzt, oder um 180 Grad, um ein Halbjahr von dem verschieden ist, den die Erde in ihrer Bahn annimmt, während er in der Wirklichkeit blos um 90° in seiner Bahn verschoben erscheint und immer die Stellung hat, die vermöge der Parallaxe ein Vierteljahr früher eintreffen müßte. Diese Erscheinung ist die von Bradley entdeckte Aberration der Fixsterne, eine Verschiebung unserer Gesichtslinie nach den Sternen, welche auf der Geschwindigkeit des Lichts im Verhältniß zu derjenigen der Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne beruht und darum so klein ist, weil die letztere von der ersteren ungefähr 10000mal übertroffen wird.

Um dieß einzusehen, errinnern wir an Bessels Darstellung dieser etwas schwierigeren Sache. Die Richtung, in welcher ein Gegenstand erscheint, ist durch die gerade Linie gegeben, in welcher das von dem Gegenstand kommende Licht sich bewegt. Diese ist aber mit der geraden Linie von dem Gegenstand nach

dem Auge, oder mit der Richtung, in welcher der Gegenstand sich wirklich befindet, keineswegs einerlei, wenn das Auge mit einer Geschwindigkeit sich bewegt, welche gegen diejenige des Lichts nicht geradezu verschwindend klein ist (was unter allen irdischen Geschwindigkeiten blos von der durchschnittlich 4 Meilen in der Sekunde betragenden Geschwindigkeit der Erde bei ihrer jährlichen Bewegung gilt). Offenbar geht die Linie, welcher entlang das Licht von einem festen Sterne läuft, gerade auf den Stern zu, wenn sie ruht; aber eben so offenbar geht sie nicht auf ihn zu, wenn sie sich selbst bewegt, nämlich mit dem Beobachter. Denn das Licht, welches sich jetzt am Auge und damit in der von ihm ausgehenden geraden Linie nach dem Stern (d. h. der wahren oder der eigentlichen Gesichtslinie) befindet, ist einen Augenblick zuvor, als das Auge noch nicht an dem Punkt war, wo es sich jetzt befindet, auch noch außer der mit dem Auge bewegten, gerade auf den Stern zugehenden Linie, und folglich muß der Linie, welcher entlang das Licht laufen soll, welche also die Richtung, in welcher der Stern erscheint, angeben soll, eine andere, vorwärts am Stern vorbeigehende Richtung gegeben werden; gleichwie derjenige, der von einem Schiff aus einen festen Gegenstand am Ufer treffen will, nicht in der geraden Linie von seinem Auge nach dem Gegenstand zielen darf, sondern in einer anderen, die auf dem Verhältniß der Geschwindigkeiten des Schiffs und des Geschoßes beruht. Daher macht jene scheinbare Gesichtslinie, in welcher wir den Stern wirklich wahrnehmen, einen, wenn auch sehr kleinen Winkel mit der wahren Gesichtslinie, welche jedesmal vom Auge nach dem wahren Ort des Sterns geht, in welcher wir ihn aber nicht wirklich sehen können. Berechnet man nun den Unterschied dieser beiden Richtungen aus dem Verhältniß der Geschwindigkeiten des Lichts und der Erde, so beträgt er genau so viel als die Beobachtungen der Aberration ergeben; und umgekehrt, wenn man aus dem Betrag dieser scheinbaren Bewegung der Sterne der entwickelten Theorie gemäß auf die dabei vorausgesetzte Geschwindigkeit des Lichts zurückschließt, so findet man genau den aus den Finsternissen der

Jupiterstrabanten gefolgerten Werth derselben. So unterstützen sich also beide Wahrnehmungen gegenseitig, und überdieß liefert die Aberration einen unmittelbaren Beweis von dem Umlauf der Erde um die Sonne, indem sie die Erdbahn am Himmel gleichsam in unzähligen Exemplaren abzeichnet.

Die Entdeckung von der allmäligen Fortpflanzung des Lichts war zugleich einer von den wichtigsten Aufschlüssen, die wir über die Natur des Lichts erhalten haben. Der andere ist die Wahrnehmung der Erscheinungen, welche man in dem Namen der Interferenz des Lichts begreift, die Wahrnehmung der Thatsache, daß unter gewissen Umständen Licht zu Licht hinzugethan, anstatt sich zu verstärken, sich abschwächt, ja aufhebt. Dieß hat nämlich unwiderstehlich zu der Ansicht geführt, daß das Licht nicht sowohl in einem an und für sich leuchtenden Stoff, als vielmehr in einer Bewegung bestehen müsse; denn dann ist Ruhe Finsterniß, und Ruhe kann dadurch hervorgebracht werden, daß an einem und demselben Punkt oder Raumtheil gleich große, einander entgegengesetzte Bewegungen erregt werden. An was für eine Bewegung man aber zu denken habe, das gab die Vergleichung mit derjenigen Bewegung an die Hand, in welcher der Schall besteht. Es bietet ja die Schallstrahlung so viele Aenlichkeiten und gemeinschaftliche Gesetze mit der Lichtstrahlung dar, die allmälige Fortpflanzung selbst, die Zurückwerfung, und namentlich auch Interferenz. Die Schallbewegung ist aber eine schwingende Bewegung der Theilchen des schallenden Körpers, die Schwingungen derselben theilen sich der umgebenden Luft mit und pflanzen sich zum Ohr fort, wo sie den Gehörnerven in eben solche Schwingungen versetzen, welche zunächst die Gehörempfindung vermitteln. An eine eben solche schwingende und wellenförmig sich fortpflanzende Bewegung war also beim Licht zu denken; nur eine solche erklärt vor allem die Interferenz-Erscheinungen. — Auf der anderen Seite aber mußte beim Licht Alles der Größe nach anders sein. Das Licht pflanzt sich in einer Sekunde durch 42000 Meilen fort, der Schall nur durch 1050 Pariser Fuß. Beim Schall erzittern kleine aber noch sichtbare Körpertheilchen oft noch sichtbar, so daß von 32 Schwin-

gungen bis zu zehntausenden in einer Sekunde erfolgen; beim Licht müssen es die kleinsten Körpertheile sein, die Atome, welche im chemischen Prozeß auseinander- und zusammentreten, die auch dem schärfsten Vergrößerungsglas durch ihre Kleinheit sich entziehen, und eben so unwahrnehmbar klein müssen deren Schwingungen sein, in denen das Licht besteht, aber um so rascher, dergestalt, daß sie billionenweise in der Sekunde erfolgen. Beim Schall erfolgt die Fortpflanzung durch die Mittheilung der Schwingungen an die umgebende wägbare Materie, namentlich an die Luft, und im luftleeren Raum pflanzt sich kein Schall mehr fort. Beim Licht dagegen muß das Mittel der Fortpflanzung ein allgemein im Weltraum verbreiteter, alle anderen Stoffe und Körper durchdringender Stoff von äußerster Feinheit sein, unsperrbar und unwägbar für uns, der sogenannte Aether (den man von den chemischen Aethern wohl unterscheiden muß).

So hat sich die Ansicht vom Licht gebildet, die Lichtwellenlehre, der heutzutage alle Sachverständigen huldigen, wornach das Licht in einer Bewegung besteht, ähnlich derjenigen, wodurch der Schall hervorgebracht wird, einer Bewegung, worin die Atome der Leuchtkörper in ausnehmend raschen Schwingungen begriffen sind, die vom Ort der Erregung oder vom Leuchtkörper aus vermittelst des allgemeinen Weltäthers im Raum mit außerordentlicher Geschwindigkeit nach Art der Wellen im Wasser sich fortpflanzt, und die von demselben Aether durchdrungenen Körper, denen sie auf ihrem Wege begegnet, sei es bloß an der Oberfläche, sei es durch und durch, ergreift, so unter anderem auch die Fasern des Sehnerven, durch deren Mitschwingung die Empfindung des Lichts entsteht. Dieß ist ein Prinzip, wovon alle Gesetze des Lichts mathematische Folgerungen sind, wie die Gesetze der Weltkörperbewegungen von dem Gravitationsprinzip; ein Prinzip, wodurch es möglich geworden ist, die optischen Erscheinungen nach Art und Maß durch Geometrie und Rechnung herzuleiten, im schönsten Einklang mit der wirklichen Beobachtung, gleichwie man die Bewegungen der Weltkörper voraus berechnet; ein Prinzip, wodurch mit Einem Wort eine Mechanik des Lichts hergestellt worden ist, eine ebenbürtige

Schwester von der Mechanik des Himmels. Es gehört aber nicht zur Aufgabe des Kosmos, näher hierauf einzugehen, und wir bemerken nur noch, daß, gleichwie die verschiedenen Töne durch die verschiedene Geschwindigkeit der für jeden einzelnen gleich lang dauernden Schallschwingungen entstehen, so die jedesmalige Geschwindigkeit der ein gleiches Zeitmaß haltenden Lichtschwingungen den Grund der entstehenden Farbe enthält, und daß gleichwie durch regellose Vermischung verschieden schneller Schallschwingungen der tonlose Schall, so durch ebenmäßige Vermischungen verschieden schneller Lichtschwingungen das farblose Licht hervorgebracht wird, das um so mehr dem reinen Weiß entspricht, je ausgleichender die Farbenvermischung vor sich gegangen ist.

Was aber in dieser Lehre für den Kosmos bedeutsam ist, das ist der allgemeine Weltäther, den sie fordert. Das Licht führt uns zu dem allgemeinsten Stoff des Weltalls, der die Räume zwischen den Weltkörpern erfüllt, und diese selbst durchdringt, indem er ebenso die Räume zwischen den Körperatomen (die Poren) erfüllt, wie die zwischen den Weltkörpern; ein Stoff, der sich somit nicht absperren läßt, wie ein Gas, weil ihm die Poren der gröberen Materie zugänglich sind, der ferner unseren Wagen nicht merklich ist, weil er für sie zu fein ist, nicht als ob er vom Gesetz der Massenanziehung entbunden wäre, vielmehr müssen wir ihn in und an den Körpern als durch Anziehung verdichtet voraussetzen, dergestalt, daß z. B. der einen Krystall durchdringende Aether ganz dessen Atomenbau sich anschließt. Wir behaupten nicht, daß das Licht das Vorhandensein dieses Aethers beweise im vollen Sinne des Worts; dazu müßte die Lichtwellenlehre mehr als eine, wenn auch noch so wahrscheinliche Hypothese sein. Aber finden sich nicht auch andere Spuren von seinem Vorhandensein? Er muß der Bewegung der Weltkörper einen Widerstand entgegensetzen, gleichwie die Luft den geworfenen Körpern; allein dieser Widerstand muß wenigstens bei allen Planeten so klein sein, daß, obwohl er immer vorhanden sein mag, bis jetzt kein Einfluß merklich geworden ist. Wohl aber hat man bei einem der wiederkehrenden Kometen eine Störung wahrgenommen, welche durch den Widerstand eines

Aethers sich erklären läßt. Indeß wollen wir auch auf diese Theorie des Encke schen Kometen, worauf wir im siebenten Abschnitt zurückkommen werden, kein zu großes Gewicht legen, weil sich auch noch andere Erklärungen denken lassen. Um so nachdrücklicher aber wollen wir zunächst allen denen, welche an einer allgemeinen Stofferfüllung des Weltraums zweifeln möchten, die Frage entgegenhalten, ob sie sich lieber den schlechthin leeren Raum vorstellen wollen und ob sie sich Gränzen zwischen dem leeren Raum und den Atmosphären der Weltkörper denken können? Wir zweifeln nicht daran, sondern glauben, daß wir hiemit den ersten Schritt zur Einsicht in die Stofferfüllung des Weltraums gemacht haben; wir werden indeß weiter unten noch etwas beibringen, was auf einen Weltäther fast eben so nachdrücklich hinweist, wie die Undenkbarkeit des leeren Raums. Zuvor müssen wir nämlich von der sichtbaren Materie handeln, von dem Grobstoff, den wir zerstreut in dem uns zugänglichen Theile des Weltraums wahrnehmen mittelst des Lichts, welches er ausstrahlt.

Nur wenige Weltkörper sehen wir in erborgtem Licht; es sind die, welche in unsere nächste Nähe gehören, unsere Mitplaneten und Mitmonde. Wir wissen dieß bei mehreren ganz bestimmt, aus Thatsachen, wie die Lichtgestalten der Planeten, ähnlich denen des Monds, die Vorübergänge der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe in Gestalt dunkler Flecken, Beschattung der oberen Planeten (wie des Jupiter und Saturn) durch ihre Monde oder Ringe, und wo uns solche bestimmte Anhaltspunkte fehlen, folgern wir es durch Aehnlichkeitsschluß. Indeß hat die genauere Kenntniß der Eigenschaften des Lichts, welche erst unserem Jahrhundert aufgegangen ist, noch ein allgemeineres Prüfungsmittel an die Hand gegeben, um zu erkennen, ob ein Weltkörper mit erborgtem oder mit eigenem Licht leuchtet. Erborgtes, also zurückgeworfenes Licht wird durch die Zurückwerfung mehr oder weniger verändert, dergestalt, daß es sich sofort bei weiteren Zurückwerfungen sowie bei Brechungen in manchen Hinsichten anders verhält, als unmittelbares, ursprüngliches Licht, namentlich nicht zurückgeworfen oder nicht durchge-

lassen wird, wo dieß bei unmittelbar gestrahltem Licht Statt findet. Dieß versteht man im Allgemeinen unter polarisirtem Licht, und die Polarisationsvorrichtungen können daher so benützt werden, um Aufschlüsse über die Natur des Lichts zu geben, das die verschiedenen Weltkörper uns zusenden. So hat man an Planeten und selbst an Kometen erkannt, daß sie mit zurückgeworfenem Sonnenlicht, wenigstens der Hauptsache nach, leuchten, während das Licht der Fixsterne, das nie eine Spur von Polarisation zeigt, sondern sich stets wie das Sonnenlicht verhält, eigenes Licht sein muß. Daß übrigens die sogenannten Fixsterne sonnenhafter Natur sein müssen, wie wir es schon früher ausgesprochen haben, folgt nicht minder dringend schon aus ihrer ungeheuren Entfernung, vermöge der sie sich als bloße Lichtpunkte darstellen. Ein Körper aber, welcher seiner Entfernung wegen so klein erscheint, könnte gewiß gar nicht gesehen werden, wenn er nicht mit eigenem sonnenhaftem Licht strahlte, daher wir allen Gegenständen, deren Entfernung nach Sternweiten zu bemessen ist, eigenes Licht zuschreiben müssen, und keinen an sich dunkeln Körper außerhalb unseres Sonnensystems sehen können, wie groß er auch sein möchte und wie gut von anderen beleuchtet.

Das Vorhandensein solcher dunkler Sternkörper ist damit nicht verneint; nicht nur mag kaum bezweifelt werden, daß das Planetensystem der Sonne in sehr zahlreichen Exemplaren in der Fixsternwelt sich wiederholt, sondern man darf auch an dunkle Weltkörper von sonnenhafter Größe (an dunkle Fixsterne) denken. Ja man hat auch schon daran gedacht, und aus der Anziehung, die sie auf benachbarte sichtbare Sterne ausüben könnten, gemäß kleinen Bewegungen der letzteren, auf ihr Dasein schließen zu dürfen geglaubt. Doch sind diese Wahrnehmungen zur Zeit noch zu unsicher, um mehr als die Möglichkeit solcher Körper aussprechen zu können. Der Gedanke an die unsichtbaren Weltkörper, welche in unserem Stück Weltall vorhanden sein mögen, darf aber dem Kosmos nicht fremd bleiben, wenn er sich nicht über die Menge und Natur des Vorhandenen zu täuschen Gefahr laufen will.

Die Anzahl der mit bloßem Auge sichtbaren (und unterscheidbaren) Sterne ist so groß nicht, als es scheinen möchte. Nach Argelander gibt es in dem Theil des Himmels, den man im nördlichen Deutschland übersieht, oder vom Nordpol bis zum 36sten Grad südlicher Abweichung, 3256 Sterne fürs bloße Auge, und wenn man für die zwei übrigen bei uns unsichtbaren Zehntheile des scheinbaren Himmelsgewölbes nach Verhältniß 844 hinzurechnet, so hat man 4100 Sterne, welche am ganzen Himmel einem Auge von mittlerer Sehkraft sichtbar sind, eine Anzahl, die man etwa auf 6000 für ein sehr scharfes Auge erhöhen darf. Da man nun selbst am Aequator auf einmal nur die Hälfte des Himmels vor sich hat, so sind in einer hellen tiefen und mondscheinlosen Nacht nirgends auf Erden mehr als 2000 bis 3000 Sterne (d. h. je nach der Güte des Augs) auf einmal sichtbar. Die Anzahl dünkt dem Auge größer wegen der unregelmäßigen Vertheilung, wegen der Gruppen dichtstehender Sterne, die es hin und wieder wahrnimmt; es ahnt wohl auch mehr Sterne, weil es die kleinsten, d. h. lichtschwächsten erst bei geschärfter Aufmerksamkeit gleichsam auftauchen sieht. Nimmt man den rund am Himmel herumziehenden Streifen von weißlichem Schimmer, der unter dem Namen der Milchstraße von Alters her bekannt ist, hinzu, überdieß einige wenige Stellen des Himmels, welche bei viel beschränkterem Raum und schwächerem Licht ein milchstraßenhaftes Aussehen zeigen, so hat man Alles, was das bloße Auge am Himmel wahrnimmt. — Was überhaupt am Himmel das Aussehen der Milchstraße hat, begreift man in dem weitesten Sinn, der dem Namen Nebel (Nebelfleck) zukommt. Die Milchstraße ist in der That fürs bloße Auge ein Nebel, für uns der größte des ganzen Himmels, unser Nebelfleck. Das nächstgrößte und mit bloßem Auge gut sichtbare Gebilde der Art sind die bei uns unsichtbaren, in der Nähe des Südpols befindlichen Kapwolken oder Magellanischen Wolken; bei uns sind der unter dem Namen der Krippe längst vor dem Fernrohr bekannte leuchtende Fleck im Sternbild des Krebses und der „milchige" Nebel im Sternbild der Andromeda diejenigen Nebel, welche dem Auge am ehesten auffallen. Den Uebergang



dazu (der Erscheinung nach) machen Sterngruppen, wie die des Siebengestirns, wo schon das bloße Auge bei geschärfter Aufmerksamkeit noch weit mehr Sterne wahrnehmen kann, als diejenigen, welche der Gruppe den Namen gegeben haben.

Wie sehr hat aber das Fernrohr die Gegenstände des Himmels nach beiden Gattungen, der Sterne wie der Nebel, vermehrt! und das stärkere Fernrohr späterer Zeiten wieder das, was das schwächere der früheren Zeiten wahrgenommen hatte! Doch sind es hauptsächlich zwei Epochen, die wir in der Erweiterung unserer Weltallsaussicht zu unterscheiden haben; die Epoche der ersten Fernrohre, die sich vorzugsweise an den Namen Galiläis knüpft, und die Epoche der Riesenfernrohre, die mit W. Herschel ins Dasein treten. „Wahrhaftig ein großes Ereigniß, sagt Galiläi über den Erfolg des Fernrohrs in der Fixsternwelt, daß zu der beträchtlichen Anzahl der Fixsterne, welche bisher durch die natürlichen Mittel wahrgenommen werden konnten, nunmehr unzählige andere Sterne hinzukommen, daß man jetzt Sterne gewahr wird, die noch kein Auge gesehen und deren Anzahl wenigstens zehnmal größer sein muß, als die der altersher bekannten Sterne; und eine Thatsache von ungemeiner Wichtigkeit ist es, daß nun endlich dem Streit über die Natur der Milchstraße ein Ziel gesetzt worden ist." Das erste Fernrohr hatte nämlich den Nebelschimmer der Milchstraße bereits, zum Theil wenigstens, in einzelne Lichtpunkte aufgelöst, und somit darin die vereinte Wirkung des Lichts zahlloser, scheinbar dichtgedrängter Sterne erkennen lassen, gleichwie die Bäume eines fernen Walds, die dem bloßen Auge als eine gleichartige Masse sich darstellen, im Fernrohr auseinandertreten. Eben so zeigte sich die Krippe im Krebs als ein Sternschwarm, und der schon erwähnte Andromedanebel, so wie der nicht minder ausgezeichnete Orionnebel wurden nun näher telescopisch beschrieben, ohne daß aber diese Gebilde in Sterne sich auflösten, was sogar beim einen, dem letzteren, erst in neuester Zeit, und zwar nur theilweise, erfolgt ist. Doch wir wollen nicht vorgreifen, vielmehr zunächst noch an die übrigen Erfolge des ersten Fernrohrs erinnern. Bedenkt man, daß auch in unserer näheren



Nähe neue Weltkörper entdekt wurden, die Monde des Jupiter, der Ring des Saturn, daß die übrigen in anderer Gestalt als bisher sich zeigten, die Planetenscheiben, die Lichtgestalten der Venus, daß endlich die beiden großen Scheiben ihre Einzelheiten entfalteten, der Mond die Unebenheiten seiner Oberfläche, die Sonne ihre Flecken und Fackeln: so kann man ermessen, welche Theilnahme zu Anfang des 17ten Jahrhunderts die neu erschlossene telescopische Welt hervorbringen mußte.

Hatte das bloße Auge nur wenige Tausende von Sternen und außer der Milchstraße nur einige Exemplare von den Nebelgebilden vor sich gehabt, hatten alsdann die ersten schwachen Fernrohre den Blick auf viele Myriaden von Sternen und etwa auf ein Hundert von Nebeln (wenn wir die Zeit bis zu Herschel zusammenfassen) erweitert: so steigerten die Riesenfernrohre seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts die Menge der sichtbaren und unterscheidbaren Sterne weit in die Millionen hinein und brachte die Anzahl der Nebel auf einige Tausende (etwa 3000, wenn man die neuere Ausbeute von Herschel dem Sohn mitnimmt, oder halb so groß als die Anzahl der Sterne, die vor dem Fernrohr dem Auge zugänglich waren). Daß auch die Anzahl der uns näheren Körper durch Entdeckung neuer Planeten, Monde und periodischer Kometen bedeutend gewachsen ist, daß man jetzt die Gebirge des Mondes besser kennt als manche Gebirge der Erde, dieß mag im Vorübergehen angedeutet werden, um das Bild von dem Umfang der telescopischen Welt zu vollenden. Da wir aber dem, was uns näher steht, nach den Abstufungen dieser Nähe, besondere Abschnitte widmen, so gilt es hier, die Masse der Erscheinungen überhaupt, so weit es bis jetzt möglich ist, zu sondern, und nach ihren zwei Hauptgattungen näher zu betrachten, deren eine, die Betrachtung der Nebel, wir sogar in diesem Abschnitt abschließen müssen.

Wenn wir von vielen Millionen von Sternen sprechen, auf welche nun die Aussicht eröffnet ist, ohne aber bestimmter weder 30 noch 40 Millionen anzugeben, so beruht dieß keineswegs auf vollständiger Zählung, sondern nur auf Schätzung.

die wirklich gezählten und zur bleibenden Unterscheidung von allen anderen nach ihrem Ort am Himmel (in Beziehung auf den Aequator oder die Ekliptik und den Frühlingspunkt) in Tabellen und Karten verzeichneten Sterne waren stets weit unter der jedesmal sichtbaren Anzahl. Das älteste Verzeichniß, welches der Grieche Hipparch fürs Jahr 128 vor Chr. anfertigte, ein Gegenstand der größten Bewunderung im Alterthum, enthielt die Oerter von 1022 Sternen. Tycho begann wieder mit 1000 Sternen, deren Oerter für das Jahr 1600 angegeben sind, und sein Verzeichniß wurde noch vor der Verbindung des Fernrohrs mit den Meßwerkzeugen (denn solche sind natürlich zur Ortsbestimmung erforderlich) durch Hevel fürs Jahr 1600 auf 1550 Sterne vermehrt. Nach jener Epoche der astronomischen Messungen aber, wo ein bewegliches Fernrohr an den eingetheilten Kreisen angebracht, und die Uhr zum eigentlichen Meßinstrument erhoben wurde, erschien Flamsteeds Verzeichniß mit fast 3000 Sternen fürs Jahr 1690, und das nächste von Bradley, seinem Nachfolger zu Greenwich, war mehr durch Genauigkeit als durch Anzahl der Sternörter vervollkommnet, denn es enthielt deren nur 3222 fürs Jahr 1755. Mehr als verdoppelt wurde sofort die Zahl der registrirten Sterne durch Piazzi in Palermo, dessen Verzeichniß fürs Jahr 1800 schon 6748 Sternörter enthielt, und weiterhin von ihm selbst bis auf 7646 Sterne ausgedehnt wurde. Die ausgedehntesten Arbeiten aber sind die etwas ältere von Lalande, die Histoire céleste, welche 50000 Beobachtungen, angestellt zu Paris von 1789 bis 1800, mit fast eben so vielen Sternen enthält, da die meisten nur einmal beobachtet worden sind, und die neuere ungleich gründlichere von Bessel, welche weniger Sterne, aber mehr Beobachtungen enthält, denn sie giebt etwa 32000 Sterne in 75000 Beobachtungen auf der Königsberger Sternwarte. Da nun die verschiedenen Sternverzeichnisse der neueren Zeiten, welche wir hier erwähnt haben, auch verschiedene Sterne enthalten, so sind in diesem Jahrhundert Sternkarten möglich geworden, welche über 100000 Sterne verzeichnen. Die älteren Hardingschen enthalten 120000 in 30 Blättern; die neuesten der Ver-

liner Akademie, welche auf Bessels Arbeiten vorzugsweise sich gründen, sind noch nicht vollendet, es ist aber bekannt, welche Rolle eines der bis jetzt erschienenen Blätter bei der berühmten Neptunentdeckung gespielt hat.

Also mehr als 100000 Sterne sind jetzt nicht nur gezählt, sondern nummerirt, signalisirt und einregistrirt; es sind die hellsten unter dem ganzen Heere, nämlich bis zur 9. Größe oder Helligkeitsgrad (wenigstens in der Thierkreiszone des Himmels, sonst aber nicht über die 6. Größe hinaus), und es kommen dazu noch einige Tausend von den bei uns unsichtbaren Südsternen, welche Beobachter auf den neuen Sternwaten der südlichen Halbkugel verzeichnet haben. Die Schätzungen aber von der in die Millionen laufenden Gesammtzahl, welche mit den stärksten Fernrohren heutzutage einzeln sichtbar und unterscheidbar sein dürften, sind hauptsächlich von W. Herschel. Als dieser sein Spiegeltelescop (Fernrohr mit Hohlspiegel, Reflector) auf die Milchstraße richtete, zeigte sich ein ganz anderes Gewimmel unterscheidbarer Sterne als früher. In seinem frühesten Bericht sagt Herschel, daß er oft binnen einer Stunde 50000 Sterne deutlich zählen konnte, aber noch wenigstens zweimal mehr vermuthete, die aus Mangel an Licht nur dann und wann mittelst matter und unterbrochener Aufschimmerungen unterschieden werden konnten. In einem späteren Bericht aber bemerkt er, daß er im dichtesten Theil der Milchstraße häufig 588 Sterne auf einmal im Fernrohr gebabt habe, so daß in einer Viertelstunde etwa 116 Tausende das Gesichtsfeld passiren mußten. Desgleichen zeigte sich auch außerhalb der Milchstraße die Anzahl der sehr kleinen Sternen ausnehmend groß, aber geringer als dort, und im Allgemeinen mit der Annäherung an dieselbe größer als anderswo. Indem nun Herschel auf diese Art die Milchstraße und andere Gegenden des Himmels an verschiedenen Stellen sondirte und Durchschnitte aus mehreren Abzählungen der gleichzeitig in seinem Gesichtsfeld befindlichen Sterne nahm, schloß er daraus auf die ungefähre Gesammtzahl, welche sich ergeben hätte, wenn es ihm möglich gewesen wäre, sein Fernrohr auf diese Weise in der ganzen Milchstraße und am ganzen

Himmel herumzuführen. Da ferner die gleichzeitig im Gesichtsfeld stehenden Sterne nicht etwa blos neben-, vielmehr und vorzugsweise hintereinander zu denken sind, da man eine Schicht von Sternen vor sich hat, so erlaubte sich Herschel auch aus dem Verhältniß der Sternmengen auf das Verhältniß der Tiefe dieser Schichten einen ungefähren Schluß zu machen. Aehnliche Untersuchungen sind auch in neuerer Zeit mit den großen Linsenteleſcopen oder Refractoren (Fernrohren mit Objectivlinsen) angestellt worden, und hierin bestehen die berühmten Sternaichungen, in denen der Beobachter gleichsam „die Gesichtslinie seines Fernrohrs wie ein Senkblei in die Tiefen des Weltraums auswirft."

Was leisteten aber die großen Reflectoren und Refractoren im Gebiet der Nebel? Die außerordentliche Vermehrung dieser Gebilde durch die beiden Herschel wurde schon angeführt (gegen dritthalbtausend sind vom Vater allein beobachtet und verzeichnet); denn wie eine Unzahl von Sternen erst in den stärksten Fernrohren sichtbar wird, so entziehen sich auch die meisten Nebelgebilde, und zwar ebensowohl ausgedehnte unregelmäßige Nebelgegenden, als sehr kleine, Planetenscheiben vergleichbare Fleckchen, nicht nur dem bloßen Auge, sondern auch dem gewöhnlichen Fernrohr. Allein die Riesenteleſcope leisteten noch etwas anderes. Wie die Krippe, ein Nebelfleck fürs bloße Auge, schon in Galiläis Fernrohr in einen Sternhaufen sich verwandelte, so ergieng es wieder im Herschelschen Fernrohr manchem dieser Gebilde, welches für die schwächeren Fernrohre ein unauflöslicher Lichtschimmer blieb. Es lösten sich insbesondere runde Nebel in Sterne auf, in welchen man demgemäß kugelförmige Sternhaufen zu sehen glaubte, wo übrigens von einer wirklichen Zählung keine Rede sein konnte, also ganz anders als bei sonstigen sternreichen Gegenden, z. B. der Plejadengruppe, wo man 60 bis 70 Sterne wahrnimmt, oder auch selbst in der Milchstraße, wovon so eben die Rede war. Denn nicht durch Hunderte, sagt J. Herschel, würde die Anzahl der Sterne in jenen Sternhaufen ausgedrückt werden, sondern nach einer rohen Schätzung nach Myriaden, welche in einen Raum scheinbar zu-

sammengedrängt erscheinen, der kaum den 10. Theil von der Mondscheibe einnimmt. Und daraus geht unwidersprechlich hervor, daß man wieder etwas ganz anderes vor sich hat, als eine besonders sternreiche Gegend des Himmels oder die Milchstraße, nämlich ein für sich bestehendes System von Sternen, welches weit außerhalb des Inbegriffs von Sternen sich befinden muß, in welchem wir stehen. Doch darauf kommen wir zurück, es galt hier zunächst auf die noch höheren Grade von telescopischem Sterngewimmel aufmerksam zu machen, welche hin und wieder die Nebel gewähren.

Bei weitem die meisten dieser Gebilde, nämlich etwa 2300 unter den dritthalbtausend Nebeln in Herschels Verzeichniß, blieben unaufgelöst, und nur 200 zeigten sich als Sternhaufen nach Art der Milchstraße oder der Krippe. Erst in neuester Zeit (December 1847) ist aus Nordamerika berichtet worden, daß die Auflösung eines der berühmtesten Nebelgebilde, des Orionnebels (mittelst eines Münchner Refractors) wenigstens zum Theil (an einer gewissen Stelle, der hellsten nämlich, des vollmondgroßen Gebildes) gelungen sei; man hatte früher wohl einige Sternchen darin bemerkt und selbst vermuthet, daß sie zu dem Nebel selbst gehören, allein der Nebel hatte immerhin zu den unaufgelösten bisher gehört, ja man fand selbst das Aussehen gerade dieses Nebels „verschieden von demjenigen, der durch Zusammenhäufung einer unendlichen Menge von kleinen Sternen erzeugt wird." So sagt der jüngere Herschel selbst, und fügt bei, daß er aus kleinen lockeren Massen, wie Flocken von Wolken, zu bestehen, und daß diese Flocken mit ihrem Saum an einer Menge von kleinen Sternen gleichsam zu hängen scheinen, besonders aber an Einem Hauptsterne, welcher von einer nebligen Atmosphäre von beträchtlicher Ausdehnung und sonderbarer Gestalt umhüllt sei. Die neueren Zeichnungen des Nebels weichen sehr von der seines Entdeckers Huyghens ab, woraus man schon auf Veränderungen der Gestalt schließen wollte, welche sich mit ihm zugetragen hätten; allein andere machen darauf aufmerksam, wie unsicher dieser Schluß sei, da der Nebel in verschiedenen Fernrohren, ja selbst in einem und demselben Fern-

rohr bei verschiedenem Zustand der Luft, ungleich sich ausnehme. Wir haben um der Tagesgeschichte willen ausführlicher von diesem Nebel gehandelt, und auch den zuletzt erwähnten Umstand nicht verschwiegen, weil man bei der sogenannten Auflösung des Nebels auch an eine wirkliche Veränderung, an gewordene Sterne denken könnte.

Dieß führt überhaupt zu der Frage, was man in den verschiedenartigen Nebelflecken eigentlich sehe, ob namentlich von allen die Auflösung in Sterne zu erwarten sei, wofern nur Werkzeuge von gehöriger Kraft angewendet würden, oder ob auch an Materie in nicht sternhaftem Zustand, an ungeballte Nebelmaterie, Weltdunst zu denken sei, welche neben der geballten Materie im Weltraum vorhanden wäre. In der That ist letzteres die neuere Ansicht der Astronomen, ersteres aber war die ursprüngliche Ansicht, welche sich zunächst dargeboten hatte, und von welcher W. Herschel selbst allmälig zu jener überging, je mehr er die Nebelgebilde kennen lernte in ihren mannigfaltigen Verschiedenheiten und Gruppirungen. Werfen wir hierauf einen Blick nach der Darstellung des jüngeren Herschel. Die bisher noch nicht aufgelösten Nebel unterscheiden sich durch ihr Aussehen in solche, von denen sich vermuthen läßt, daß sie aus einzelnen Sternen bestehen, welche nur die optische Kraft der bisherigen Fernrohre noch nicht zu unterscheiden gestattet (sei es daß sie noch ungleich weiter entfernt sind als die obenerwähnten Sternhaufen, oder daß ihre Sterne lichtschwächer sind), und in solche, bei denen gar kein Anschein einer Zusammensetzung aus Sternen vorhanden ist, die eigentlichen Nebelflecken. Unter diesen macht wieder die Verbindung der Nebelerscheinung mit Sternen einen bedeutsamen Unterschied. Die sternlosen Nebel haben zur Grundform, daß ein rundlicher und noch häufiger ein elliptischer, oft sehr länglichter Fleck nach der Mitte zu an Helligkeit zunimmt. Gehört der große, sehr länglichte und durch seine Helligkeit dem bloßen Auge zugängliche Nebel im Sternbild der Andromeda, welcher zuerst unter allen telescopisch beschrieben worden ist (nämlich schon 1612 durch Simon Marius, wie gewöhnlich angegeben wird), in

diese Gattung der Nebelgebilde, wie die sachkundigsten Astronomen behaupten: so ist dieser „ein Muster nach großartigem Maßstab für eine sehr zahlreiche Klasse von Nebelflecken.“ Die Aeußersten in derselben sind einerseits die fixsternartigen, andrerseits die planetarischen Nebel. Bei jenen nimmt die Verdichtung nach der Mitte nicht nur überhaupt, sondern plötzlich zu, dergestalt, daß sie das Ansehen eines matten, mit einem Nebel umgebenen Fixsterns erhalten, ohne daß aber wirklich ein deutlicher, bestimmt abgegränzter Stern zum Vorschein käme. Die planetarischen Nebel aber stellen sich als kleine runde oder wenig elliptische, scharf begränzte Flecken, ähnlich den Planetenscheiben, dar, deren Helligkeit überall gleich erscheint, und meistens gleich matt, also ohne merkbare Zunahme nach innen.

Die fixsternartigen Nebelflecken machen den Uebergang zu den Nebelsternen oder Sternnebeln, wo ein oder zwei helle, scharfbegränzte Lichtpunkte (Sterne) von einem Nebel umgeben oder begleitet erscheinen. Bald zeigt sich nämlich ein einziger heller Stern in der Mitte eines rundlichen oder elliptischen Nebels, manchmal auch am spitzen Ende eines fächerartigen Nebels (kometenartig), bald zeigen sich zwei Sterne an den Enden oder in den Brennpunkten eines sehr länglichten elliptischen Flecks. Obgleich nun die Erscheinung häufig ist, daß Sterne sich nur optisch auf einen Nebel entwerfen, was meistens da anzunehmen ist, wo die Sterne unregelmäßig vertheilt sind, besonders wenn der Nebel selbst regellos gestaltet ist: so deuten dagegen die beschriebenen Erscheinungen zu entschieden auf eine eigenthümliche physische Verbindung zwischen den Nebeln und Sternen. Diese Gebilde haben es daher besonders nahe gelegt, den Gedanken an eine nicht sternhafte oder ungeballte Nebelmaterie zu fassen, die neben und mit den geballten Massen vorhanden sei. Man konnte aber von diesem Gesichtspunkt aus wieder an zweierlei bei den Nebelsternen denken; an sonnenartige Weltkörper nämlich mit kometenartigen Umgebungen oder Anhängen, welche sich von den gewöhnlichen Sternen oder Sonnen etwa in der Art unterscheiden würden, wie in unserer Nähe die Kometen den Planeten gegenüberstehen;

oder aber konnte man an chaotische Gebilde denken, welche bereits ausgebildete Verdichtungspunkte, fertige Sterne wahrnehmen lassen. Dabei liegt dann die allgemeine Vorstellung zu Grunde, auf die wir zurückkommen, daß der nebelförmige Zustand überhaupt der Zustand der Materie sei, welcher dem geballten vorangehe als eine Art von Chaos. Wir müssen aber erst die Musterung der Erscheinungen vollenden.

Sehr selten sind die Ringnebel oder Nebel mit Oeffnungen, sei es daß das Innere als völlig leer sich darstellt, sei es daß ein rundlicher Kernnebel durch einen Zwischenraum von einem einfachen oder gar doppelten Ring getrennt erscheint. Man hat diese Erscheinung sehr ausgezeichnet, gleichsam als ein Abbild unserer Milchstraße mit dem innerhalb derselben befindlichen Sternhaufen, zu dem unsere Sonne selbst gehört. So müßte nämlich etwa aus gehöriger Entfernung dieses Ganze sich ausnehmen, hat man bemerkt; doch könnte man dieß in Frage stellen, indem auch eben so gut das Innere ganz ausgefüllt erscheinen könnte, so daß unser Nebelfleck, für einen außerhalb desselben befindlichen Beobachter vielmehr die gewöhnliche Nebelform darböte. Man hat ferner auch eigenthümliche Gruppirungen der Nebel wahrgenommen, namentlich zwei runde oder länglichte Nebel nebeneinander, die Doppelnebel, und darunter wieder als eine einzige Erscheinung in ihrer Art, zwei wie durch einen Hals verbundene helle Rundnebel, die wieder von einem schwächeren Nebel mit elliptischer Begränzung umgeben sind. Auch bildet man Nebel ab, wo mehrere langgestreckte Gestalten mit ihren Spitzen zusammenzuhängen und überdieß Nebenzweige abzusenden scheinen, gleichsam mehrere verwachsene Nebel von der Grundform. Es gibt überhaupt Nebelgebilde, wo die aufgezählten Grundformen auf mannigfaltige Art abwechseln, so daß ein unregelmäßiges Ganzes entsteht; man hat sie Zwitternebel genannt, vielleicht dürfte man sie auch als Nebelgruppen (Nebelarchipele) ansprechen. So beschreibt man die schon oben erwähnten Kapwolken, in denen manche Astronomen gleichsam abgelöste Stücke der Milchstraße sehen wollten, als „ein seltsames Gemenge von Sternschwärmen, Nebelsternen und unauflöslichen

Nebeln, die eine allgemeine Helligkeit des Gesichtsfeldes hervorbringen, als Hintergrund des ganzen Bildes." Endlich sind diese Gebilde keineswegs gleichförmig am Himmel vertheilt, sondern im Allgemeinen so, daß sie vorzugsweise eine breite Zone einnehmen, welche die Milchstraße fast rechtwinklig durchschneidet, weßhalb man schon von einer Milchstraße der Nebelflecken gesprochen hat, gegenüber der Milchstraße der Sterne. In einigen Theilen dieser Zone, fügt Herschel bei, besonders da, wo sie die Sternbilder der Jungfrau, des Haupthaars der Berenice und des großen Bären durchschneidet, finden sich jene Gebilde wirklich in großer Anzahl vor, aber größtentheils telescopisch in höherem Grad, dergestalt, daß das starke Fernrohr ganze Gegenden des Himmels mit Nebelmaterie gleichsam überzogen zeigt.

Dieß mag mehr als hinreichen, um inne zu werden, welche Welt der Räthsel in dieser Nebelwelt uns erschlossen ist. Anfangs zwar erklärte man sich alle diese Erscheinungen flugs aus scheinbaren, durch die große Entfernung bedingten Häufungen von Sternen; man sah in ihnen nichts als einzelne Sternschichten, nach Art der Milchstraße, da dann etwa der Andromedanebel eine der nächsten oder die nächste, die planetarischen Nebel aber die entferntesten dieser Milchstraßen sein mußten. Jetzt aber, zumal da die Milchstraße selbst die Nebelerscheinung stets noch als Hintergrund des telescopischen Sterngewimmels zeigen soll, ist man der Ansicht, daß es, so viele Nebelgebilde auch in der That Sternhaufen sein mögen, wirklich auch eine leuchtende Nebelmaterie im Weltraum gebe, sei es im Zustand der Zerstreuung (Weltdunst), sei es im Zustand der allmäligen Verdichtung zu Sternhaufen (chaotischer Sternstoff). Es ist auch in der That ein ansprechender Gedanke, neben fertigen Sternsystemen auch werdende zu erblicken, die erst aus einem chaotischen Zustand sich herausbilden, so daß man darin den Zustand erblickt, in welchem auch unser fertiggeballtes System früher sich befunden haben mag, daß man überhaupt den Weltenstoff in verschiedenen Entwicklungsstufen nebeneinander wahrnimmt, „wie Bäume in einem

Garten." Man darf aber nie vergessen, daß das Reich der Nebel auch das der Räthsel und Hypothesen ist, daß es in jedem einzelnen Fall schwer ist zu entscheiden, welche von den verschiede- Möglichkeiten stattfinde, daß endlich nach der einen oder anderen der angegebenen Annahmen über die Natur eines Gebildes auch das Urtheil über seine Entfernung anders sich gestalten muß. Sehen wir in einem Nebelstern oder Planetennebel einen Weltkörper eigener Art, so kann seine Entfernung der eines Fixsterns vergleichbar sein: sehen wir aber ein werdendes Sternsystem oder gar ein fertiges nach Art der Milchstraße, so muß die Entfernung diejenige aller unterscheidbaren Sterne, selbst diejenigen der Milchstraßensterne, über alle Maßen übertreffen.

Da es nun jedenfalls keinem Zweifel unterliegt, daß ein großer Theil der Nebelgebilde wirklich Haufen von unzähligen einzelnen Sternen sind, welche scheinbar bei weitem dichter noch stehen als die Milchstraßensterne — dafür sprechen ja die gelungenen Nebelauflösungen entschieden — so ist auch kein Zweifel, daß wir in Entfernungen blicken, gegen welche die der Milchstraßensterne wiederum klein sein muß, so groß schon diese im Vergleich mit den Abständen der nächsten Fixsterne sind. Ebenso entschieden geht aber aus der ganzen Musterung des Himmels, welche wir nun vorgenommen haben, hervor, daß die Massen in dem uns zugänglichen Theil des Weltraums keineswegs gleichmäßig vertheilt sind, sondern daß sie einzelne große Schichten oder Systeme bilden, von einander durch Räume getrennt, welche die Abmessungen der einzelnen Schichten, „Weltinseln," in demselben Maß übertreffen mögen, in welchem in jeder einzelnen die Abstände der Massen die Abmessungen der zu einer jeden gehörigen Körpersysteme übertreffen, d. h. so viel mal die Entfernung der nächsten Fixsterne den Durchmesser des ganzen Sonnensystems übertrifft, so viel mal mag die Entfernung der nächsten Sternschicht den Durchmesser der unsrigen übertreffen. Eine solche Sternschicht oder Weltinsel nämlich bewohnen wir, indem unsere Sonne ein Glied derselben ist, und es kann kein Zweifel darüber walten, daß die Milchstraße zu diesem Ganzen gehört oder wenigstens in einer

so besonderen Beziehung zu demselben steht, daß wir sie unseren Nebelfleck nennen dürfen, so gut wie die Sonne unser Fixstern ist. Davon wird im nächsten Abschnitt die Rede sein, so wie von allem, was die eigentlichen Fixsterne unsers Firmaments als die Mitsonnen unserer Sonne näher angeht, ihre Bewegungen, Entfernungen u. s. w.

So unsicher freilich alle Betrachtungen über die verhältnißmäßigen Entfernungen der Sterne und Sternsysteme sind, wie auch die obige über die Entfernung der außerhalb unseres Systems befindlichen Sternhaufen: so kann man doch nicht umhin, dergleichen wenn auch hypothetisch sich vorzuhalten. Wenn aber in jener Betrachtung zuviel Theorie steckt, so halten wir uns an die Thatsache, daß wir in Entfernungen blicken, wo in einem Raume, der den 10ten Theil der Mondscheibe einnimmt, unzählige, nach Myriaden zu schätzende Sterne zusammengedrängt erscheinen, daß das vereinte Licht derselben dem bloßen Auge entgeht und im schwächeren Fernrohr selbst erst den Eindruck eines Lichtnebels erzeugt. Es ist keine Möglichkeit, daß uns aus solchen Fernen das Licht einzeln stehender Sterne wahrnehmbar sein könnte, und aus noch größerer Entfernung wird auch ein solcher einzeln stehender Sternhaufen all' unseren Sehmitteln nicht mehr zugänglich sein. Denn die Lichtstärke eines Gegenstands nimmt nach dem Quadrat der Entfernung ab, so daß von zwei gleich hell leuchtenden Gegenständen, wovon der eine 10mal weiter entfernt ist, als der andere, der erstere 100mal lichtschwächer erscheinen muß. Woraus nothwendig folgt, daß es für jeden noch so hellen und großen Gegenstand eine Entfernung gibt, in welcher sein Licht auch für das stärkste Fernrohr unwahrnehmbar schwach sein muß, in welcher er also nicht mehr gesehen wird. Ebenso klar ist aber auch, daß in jeglicher Entfernung eine solche Anhäufung von Licht sich denken ließe, welche wiederum wahrnehmbar sein müßte, wenn sonst nichts im Spiel wäre, als das angeführte Gesetz von der Abnahme der Lichtstärke mit der Entfernung. Dieß führt uns zu den Betrachtungen über die Gränzen unserer Weltaussicht und über das Licht zurück, mit welcher wir diesen Abschnitt eröffnet

haben, und welche wir zum Schluß mit folgender, zuerst von Olbers angestellten Betrachtung ergänzen.

Die Unendlichkeit des Raums und der Materie nöthigt uns, nach allen Richtungen in's Endlose fort Sternschichten und Nebelschichten uns zu denken, nach Art derjenigen, die wir in dem uns zugänglichen Stück des Weltraums unterscheiden können. Obwohl wir nun von einer gewissen Entfernung an jede einzelne nicht mehr wahrzunehmen im Stande sind, so sollte doch der vereinte Lichteindruck aller, die in stets größeren Weiten nach allen möglichen Richtungen hintereinander stehen, eine allgemeine Helligkeit des ganzen Himmels hervorbringen, ja eine sonnenhafte Helligkeit, da die unendliche Schwäche der einzelnen Lichtpunkte durch die unendliche Menge derselben stets in jedem Verhältniß ausgeglichen werden könnte. Das also wäre zu erwarten, ausgehend von der Unendlichkeit des stoff- und lichterfüllten Weltraums, wenn nämlich der Weltraum vollkommen durchsichtig ist, d. h. dem Licht dergestalt durchgänglich, daß keine Spur desselben verloren ginge. Das Licht aber verliert beim Durchgang durch alle durchsichtigen Mittel, die wir an der Erdoberfläche kennen, etwas von seiner Stärke, d. h. nach der Wellenlehre, es wird ein Theil der schwingenden Bewegung bei der Fortpflanzung allmälig vernichtet, und um so mehr, je länger der Weg in dem durchsichtigen Mittel war. Olbers bemerkt nun, daß die Annahme einer wenn auch noch so geringen Lichtauslöschung im Weltäther hinreiche, um den wirklichen Anblick des Himmels mit der Forderung einer schlechthin unendlichen Sternenwelt zu vereinigen, und berechnet zu dem Ende überschläglich den Erfolg, wenn das Licht eines Sterns bei seinem Weg durch eine Siriusweite, wozu es etwa 12 Jahre braucht, nur den 800sten Theil seiner Stärke verliert. In der That, in dieser Voraussetzung ist leicht einzusehen, daß es Entfernungen gibt, aus denen schlechterdings kein Licht mehr zu uns gelangt; eine Entfernung von 800 Siriusweiten würde hinreichen, den einzelnen Stern schlechthin unsichtbar zu machen. Neuestens will ein namhafter Astronom, W. Struve, wirklich aus seinen Beobachtungen eine solche Lichtauslöschung thatsäch-

lich nachweisen, was zugleich eine Art von neuem Beweis für das Vorhandensein des Weltäthers wäre. Denn ohne daß die Lichtschwingung eine wenn auch noch so feine, doch jedenfalls träge Materie bei seiner Fortpflanzung fortwährend in Bewegung zu setzen hätte, wäre, eben nach dem Gesetz der Trägheit, keine Abschwächung und Vernichtung dieser Bewegung zu denken.

Da endlich keine Lichtstrahlung ohne Wärmestrahlung von statten geht, da vielmehr nach unserer Erfahrung jene stets von dieser begleitet ist, so muß der Weltraum auch ein Sitz der Wärmestrahlung sein, und jedem Weltkörper muß von allen anderen Wärme zugestrahlt werden. Man spricht in der That von Sternenwärme, die auch unserer Erde aus allen Gegenden des Weltalls zugeführt werden soll, die aber nach der vorigen Betrachtung, welche gleicherweise für jede andere Strahlung gilt, ein bescheidenes Maß niemals überschreiten könnte. Denn von einem einzelnen Fixstern hat man keinen merklichen Einfluß auf die feinsten wärmemessenden Werkzeuge wahrgenommen, nur die außerordentliche Menge der einzelnen wärmestrahlenden Körper könnte einen Erfolg haben und hat denselben auch ohne Zweifel, wie schon Kepler vermuthete, und worüber neuere Physiker sogar Berechnungen wagten, aber, wie sich erwarten läßt, mit sehr abweichenden Ergebnissen. Man wollte so die Temperatur des uns umgebenden Weltraums erforschen, was uns indeß als ein eitles Unternehmen erscheint, wenn wir auch etwa glauben möchten, daß sie weit unter dem Gefrierpunkt des Quecksilbers stehen mag; der eine brachte weniger als 13, der andere 50 bis 60, ein dritter gar gegen 150 Grad unter Null (nach dem hundertheiligen Thermometer) heraus. Wir kommen übrigens hierauf im vierten Buche zurück, wo wir die Wärmeverhältnisse der Erdfläche überhaupt betrachten.

VI.

Das System der Milchstraße oder das Sternsystem, zu welchem unsere Sonne gehört.

Aus dem begränzten Stück Weltall, in dessen unermeßliche Weite die teleskopische Aussicht uns eröffnet ist, und mit dessen fernstem Inhalt wir uns so eben näher beschäftigt haben, begeben wir uns nun in das enger begränzte Stück dieses Stücks, welches wir unsre Sternschicht, Sternhaufen, Sternsystem nennen. Wir rechnen dazu nicht blos alle die zerstreut an unserem scheinbaren Firmament stehenden Sterne, welche uns überall umgeben, zum deutlichen Beweis dafür, daß die Sonne in ihren Inbegriff, in ihre Gesellschaft gehört, daß sie die Mitsonnen unserer Sonne sind: sondern auch die unzähligen Sterne der Milchstraße, die wir vom Anblick des unbewaffneten Auges aus den größten Nebelfleck des Himmels und nach ihrer augenfälligen Beziehung zu uns unseren Nebelfleck genannt haben. Denn da sie uns und den ganzen Raum der zerstreut erscheinenden Sterne als ein mächtiger Gürtel umgiebt, innerhalb dessen die Sterne rechts und links nach augenfälligem Ebenmaß vertheilt sind: so kann kein Zweifel über die nähere Beziehung obwalten, in der sie zu uns steht, vermöge der sie mit jenen Sternen ein großes Ganzes ausmacht. So wenig wir auch noch zur Zeit von dem Sinn dieses Ganzen, von dem Zusammenhang und der Wechselwirkung seiner Glieder wissen, so ist es doch ein vom übrigen Weltall augenscheinlich sich aussonderndes Ganzes, dem wenigstens in sehr vielen jener Nebelflecke ähnliche Ganze gegenüberstehen. So unklar uns noch das physische Ganze ist, so ist es jedenfalls das optische

Ganze, innerhalb dessen wir uns selbst befinden. Mehr wollen wir auch zunächst mit dem Namen „unser Sternsystem" nicht behaupten, obwohl man bei System auch schon an den physischen Zusammenhang zu denken geneigt ist, den wir zur Zeit blos ahnen aber nicht auseinandersetzen können. Das Ganze, von dem wir sprechen, würde sich einem Beobachter von einem weit entfernten Punkt außerhalb desselben aus als ein Ring mit einem Sternhaufen in seinem Innern darstellen, in noch größerer Entfernung als ein völliger, rundlicher oder elliptischer Nebelfleck. Versetzen wir uns umgekehrt ins Innere von einem jener Sternhaufen, wo in ein kleines Räumchen Myriaden von Sternen zusammengedrängt erscheinen, so würde sich derselbe zu einem Sternfirmament nach Art des unsrigen umgestalten.

Schon dem bloßen Auge fällt es auf, daß die Sterne keineswegs gleich vertheilt erscheinen; eine Zunahme der Sternenmenge gegen die Milchstraße hin ist unverkennbar. Da übrigens gerade die helleren Sterne noch ziemlich gleichmäßig nach allen Richtungen gesehen werden, so werden jene Unterschiede erst im Fernrohr recht bedeutend. Die Gegenden um die Pole der Milchstraße (oder in einem Abstand von 90 Grad) erscheinen auffallend sternleer, und mit der Annäherung an die Milchstraße nimmt das teleskopische Sterngewimmel ebenso auffallend zu. Die Milchstraße selbst zeigt in dieser Beziehung das Größte, wie wir schon im vorigen Abschnitte erzählt haben, mit dem Herschelschen Ergebniß, daß sie aus einer Unzahl dicht gedrängter kleiner und kleinster Sterne bestehe, die aber durch ihre einzelnen Gegenden sehr ungleich vertheilt sind. Diese Sterndichtigkeit ist aber wenigstens der Hauptsache nach blos scheinbar und rührt daher, daß in den Richtungen nach der Milchstraße hin Sterne in immer weiteren und weiteren Abständen hintereinanderstehen, so daß also sehr weit auseinanderstehende Sterne fürs Auge sich nebeneinander auf jenen Gürtel entwerfen, während dieß in denjenigen Richtungen nicht der Fall ist, welche von der Richtung nach der Milchstraße hin mehr abweichen, zumal in den zu ihr senkrechten Richtungen nach ihren Polen hin, wo die Sternschicht in viel kleineren Entfernungen

ihre Gränze findet. Hieraus läßt sich ein Schluß auf die Gestalt unsers Sternsystems ziehen, nämlich auf eine linsenförmige Gestalt, deren Grundebene durch den Zug der Milchstraße angezeigt, und deren weit überwiegende Abmessung der Durchmesser der Milchstraße ist. Man darf indeß hiemit keineswegs eine zu bestimmte Vorstellung verbinden. Denn einmal haben die Sternaichungen, von denen wir im vorigen Abschnitt gesprochen haben, eine verschiedene Sterndichtigkeit in verschiedenen Gegenden der Milchstraße ergeben, woraus man auch auf verschiedene Dicken dieser Gränzschicht zu schließen berechtigt sein mag. Alsdann ist man angeblich noch nicht an die Gränzen der Milchstraße gelangt, diese habe sich vielmehr selbst dem 40füßigen Teleskop Herschels unergründlich gezeigt, und eine ähnliche Ungewißheit über die Gränzen der sichtbaren Sterne soll auch in allen anderen Richtungen des Firmaments vorhanden sein, wie Struve versichert. Hieraus aber ist neuerdings selbst der abschreckende Schluß gezogen worden, daß wir noch in völliger Unkenntniß über den Umfang wie über die äußere Gestalt des unermeßlichen Systems seien, welches alle Sterne begreift, die unsere Sonne umgeben.

Die Unergründlichkeit der Milchstraße ist die Erscheinung, daß sich auch in den stärksten Fernrohren stets noch ein weißlich schimmernder Hintergrund des Sterngewimmels zeigt, daß gleichsam die Milchstraße trotz der noch so weit getriebenen Auflösung in Sterne stets wieder vorhanden ist, eine Erscheinung, die wir im vorigen Abschnitt auch von den sogenannten Kapwolken anzuführen hatten. Was bedeutet dieser nebelartige Hintergrund? Sollte man wirklich nicht einmal bis an die Gränzen unseres Sternsystems deutlich sehen können, dergestalt, daß hier noch ein Theil der Schicht unaufgelöst wäre nach Art der unaufgelösten Nebelflecken? Oder haben wir hier eine wirkliche Nebelmaterie, die nicht aus Sternen besteht, an der Gränze unseres Systems vor uns, das sich etwa von innen heraus zu Sternen geballt hätte, und dessen äußerer Umfang noch in seinem chaotischen Vorzustand erblickt würde? Dieß sind peinliche Fragen, an deren Entscheidung man in der That noch kaum

denken darf; die Ungewißheit über den Umfang und die Gestalt des Milchstraßensystems darf uns aber keineswegs abhalten, den Gedanken dieses Systems zu verfolgen und jene linsenförmige Gestalt als erstes rohes Bild davon festzuhalten. Wir möchten uns übrigens eher auf die Seite schlagen, welche die letztere jener Fragen bejaht, oder sonst eine Auskunft dieser Art trifft; denn bejahten wir die erstere, so hätten wir Entfernungen in unserem eigenen Sternsystem, welche den Entfernungen anderer Sternsysteme vergleichbar wären, ganz gegen die Ansicht, welche der Blick in das Reich der Nebel uns aufgedrungen hatte.

Die Milchstraße bietet uns aber auch noch andere mehr oder minder räthselhafte Erscheinungen dar. An einigen Gegenden derselben, besonders am südlichen Himmel gewahrt man dunklere Stellen, namentlich die sogenannten Kohlensäcke, welche durch auffallende Schwärze abstechen und wohl kaum etwas anderes als Oeffnungen der großen Sternschicht sein können. Auch der Breite nach sind ihre Gränzen schwer zu erkennen, was übrigens wiederum dafür spricht, daß sie in der That ein stetiges Ganzes mit unserm übrigen Sternenhimmel ausmacht, denn sonst müßte man eher eine scharfe Gränze nach den Seiten und nach innen wahrnehmen, und einen Ring in ihr erkennen, welcher von dem übrigen Sterninbegriff durch einen beträchtlichen Zwischenraum abgesondert wäre, übrigens immerhin der Ring unseres Sternsystems bliebe. Auch hat es nicht an solchen gefehlt, welche diese letztere Ansicht ergriffen und weiter verfolgt haben. Die Breite dieses scheinbaren Gürtels bleibt sich ferner nicht gleich, in der Nähe des Nordpols erscheint sie breiter als in der des Südpols, an dem sie näher vorbeizieht, als an jenem. An mehreren Stellen gehen Seitenzweige ab, die sich mit dem Hauptgürtel nicht wieder vereinigen, auch wollte man, wie schon erwähnt wurde, in den Kapwolken (Magellanischen Wolken) in der Nähe des Südpols gleichsam abgetrennte Theile des Gürtels sehen. Besonders merkwürdig aber ist endlich die Theilung in zwei sich wieder vereinigende Arme, welche vom Sternbild des Scorpions durch den südlichen Himmel hindurch bis zum Sternbild des Schwans stattfindet, das Aufbrechen der

Milchstraße. Alle diese Erscheinungen, sowie die ungleiche Sterndichtigkeit deuten ein mit vielen Unregelmäßigkeiten behaftetes Ganzes an, und vermehren die Ungewißheiten, in denen wir uns noch derzeit darüber befinden. Man könnte zunächst fragen, wie viel davon nur die Art betrifft, wie sich das Ganze für uns auf unser Firmament entwirft?

Dieß führt aber zugleich auf die Frage nach unserem Standpunkt in unserem Sternsystem, wobei wir uns freilich auf hypothetischem Boden bewegen müssen, denn wir gehen von der sehr abgeplatteten oder linsenförmigen Gestalt unseres Sternsystems aus; allein es verlohnt sich auch ein wenig, die Vorstellungen der Astronomen zu verfolgen, auf welche sie von gewissen Annahmen aus gelangt sind. Wir stehen jedenfalls außerhalb der Grundebene des Systems, denn sonst müßte sich die Milchstraße in einem vollkommenen Großkreis unserer scheinbaren Himmelskugel projiciren, während sie in der Wirklichkeit keinen Großkreis bildet, aber auch nicht viel von einem solchen abweicht, woraus folgt, daß wir (verhältnißmäßig) nicht weit zur Seite stehen. Denken wir uns in der Grundebene durch die äußersten Gränzen der Milchstraße einen Kreis gelegt, und nennen wir dessen Mittelpunkt zugleich Mittelpunkt des Sternsystems, ohne damit noch etwas physisches bezeichnen zu wollen: so stehen wir von demselben im Sinne des Durchmessers um ein Namhaftes ab, nämlich dem südlichen Theil der Milchstraße weit näher als dem nördlichen. Darauf führt die verschiedene Helligkeit und Sterndichtigkeit in verschiedenen Gegenden der Milchstraße, namentlich aber auch der Umstand, daß sie im südlichen Theil gespalten, in einem Doppelzug erscheint. Scharfsinnig bemerkt hiezu noch Mädler, daß diese Spaltung überdieß sehr einfach dadurch sich erklären lasse, daß die Milchstraße aus zwei breiten concentrischen Ringen bestehe, welche in den entfernteren nördlichen Gegenden perspectivisch zusammenfallen, in den näheren südlichen dagegen getrennt erscheinen.

Von hier aus ist Mädler bei Entwicklung seiner Hypothese von der Centralsonne des Sternsystems noch weiter gegangen

bis zur Vorstellung von einer ringförmigen Gliederung des Sternsystems überhaupt. Durch die Milchstraßenringe nämlich, meint Mädler, sowie durch das ziemlich deutliche Hervortreten der inneren Gränzen derselben sei man überhaupt darauf hingewiesen, auch den Raum innerhalb der Milchstraße als nicht gleichmäßig mit Sternen erfüllt zu denken, vielmehr sich die Vorstellung zu bilden, daß das ganze Sternsystem aus concentrischen ringförmigen Sternschichten bestehe, deren zwei äußerste die Milchstraße bilden, und die durch verhältnißmäßig sternarme Zwischenräume von einander getrennt seien, so übrigens, daß hie und da brückenartige Zwischentheile die großen Ringe verbinden. Diese Ringschichten mögen vorherrschend aus vereinzelten Sternen bestehen, während hin und wieder eine entschiedene Gruppenbildung zu bemerken ist. Es dürfte endlich durch Alles das angedeutet sein, in der Mitte des Sternsystems eine sternreiche Gruppe zu treffen, die dann zunächst von einer sternarmen Schicht umgeben wäre.

Wir haben gesehen, daß wir uns keineswegs in der Mitte unseres Sternsystems befinden können, wir dürfen beifügen, daß wir derselben übrigens unverhältnißmäßig näher stehen müssen, als den äußeren Gränzen, denn, wenn auch mit ungleicher Helligkeit und Sterndichtigkeit, so erscheint doch die Milchstraße überall milchstraßenhaft. Wir fragen noch, indem wir eine Sternkarte zur Hand nehmen, in welche Gegend des Himmels diese Mitte sich etwa unserem Standpunkt gemäß entwerfen müsse? Da sie nothwendig in der Grundebene des Sternsystems liegt, und diese durch den Zug der Milchstraße an unserem Firmament angedeutet ist, so ist man zunächst an diese gewiesen, und er muß sich in die unserem Standpunkt geradezu entgegengesetzte Gegend projiciren, sowie z. B. die Sonne sich in das Sternbild des Widders entwirft, wenn die Erde in der Wage steht. Da nun erstlich die Milchstraße von einem Großkreis der Kugel, wie wenig immerhin, doch entschieden abweicht, und wir also in der größeren der beiden Hälften stehen, in welche sie für unseren Anblick den Himmel theilt — wir wollen sie der Einfachheit wegen die östliche nennen oder festsetzen, daß wir

östlich von der Grundebene stehen — so ist die Mitte in der kleineren entfernteren Hälfte, also in der westlichen zu suchen, sei es noch in der Milchstraße selbst, d. h. innerhalb des scheinbaren Streifens, in welchem sich die Sternenringe auf unserem Firmament projiciren, oder in der Nähe derselben. Auch hält Mädler jene Abweichung der scheinbaren Milchstraße von einem Großkreis für bedeutend genug, um den Mittelpunkt außerhalb des Streifens, an seinem westlichen Rande, zu suchen. Da zum anderen die südliche Hälfte der Milchstraße uns näher liegt, oder da wir südlich von ihrer Mitte stehen, so muß diese im nördlichen, mithin in Verbindung mit dem vorigen Ergebniß in dem nordwestlichen Theil oder in der nordwestlichen Umgegend der Milchstraße erscheinen, zwischen ihr und dem Aequator vom Sternbild des Pegasus bis gegen den Orion hin. Da endlich unsere Sonne der Mitte nicht besonders nahe zu stehen scheint, wenn auch immer unverhältnißmäßig näher, als den nächsten Milchstraßengegenden, so liegt für uns ein nicht unbeträchtlicher Theil der Sternschichten nach innen zu und muß deßhalb um den Mittelpunkt her zusammengedrängt erscheinen, mithin hat man der Mitte zu eine größere Sternfülle zu erwarten und kann von jenem Raum alle sternarmen Gegenden ausschließen.

So gelangt man nach Mädler in die sternreichen Gegenden im Sternbild des Stiers. Es hat kürzlich viel Aufsehen gemacht, aber auch viel Achselzucken erregt, daß Mädler den Mittelpunkt unseres Sternsystems nach astronomischen Beobachtungen noch bestimmter ermitteln zu können geglaubt hat, dergestalt, daß das Siebengestirn die Mittelgruppe des ganzen Sternsystems, und daher der wahrscheinliche physische Mittelpunkt dieser Gruppe, ihr hellster Stern Alcyone, der Centralstern, die sogenannte Centralsonne, wäre. Wir werden weiter unten den Begriff der Centralsonne eines solchen Sternsystems näher untersuchen und können hier blos bemerken, daß die Hypothese, mit welcher wir uns beschäftigen, um so gewagter und unsicherer ist, je bestimmter man sich über Umfang, Gestalt, Bau und vollends über die physische Mitte des Ganzen aussprechen will, welches wir unser Sternsystem nennen.

Wenn wir übrigens auch von der Unsicherheit absehen, welche nach den oben mitgetheilten Wahrnehmungen über die Milchstraße dieser Betrachtung anklebt, so ist nach dem Urtheil der Astronomen der von Mädler versuchte Nachweis, daß den astronomischen Beobachtungen zufolge die Alcyone am besten die Bedingungen erfülle, welche dem Mittelpunkt des Sternsystems der Theorie gemäß zukommen, deßwegen unhaltbar, weil er auf zu kleinen Größen beruhe, als daß die jetzigen Beobachtungen dieselben verbürgen könnten. So wenig wir also in der Mädlerschen Centralsonne mehr als eine Hypothese vor uns haben, so wenig durfte sie doch hier übergangen werden, theils als Neuigkeit, theils weil sie uns Gelegenheit gegeben hat, die Frage selbst auseinanderzusetzen, deren Beantwortung, so gern man sie wohl haben möchte, zur Zeit noch die Kräfte der Astronomie entschieden übersteigt.

Ehe wir aber die Frage nach einem allgemeinen Systemverband und nach einem Centralkörper der Fixsternwelt theoretisch betrachten, begeben wir uns in verbürgtere Gebiete und sehen, was die Forschungen der Astronomen über Entfernungen, Größen, Bewegungen und Gravitationsverhältnisse der Sterne mit einiger Sicherheit uns kennen lehren. Vor allem aber wird es nicht überflüssig sein zu bemerken, daß das flimmernde und funkelnde Aussehen, das die Sterne dem bloßen Auge darbieten, und wovon sich die sogenannte Sternfigur des allgemeinen Bewußtseins herschreibt, im Fernrohr verschwindet. Je besser das Glas, desto punktartiger erscheinen selbst die hellsten Sterne; die merkliche Ausdehnung derselben ist blos scheinbar, eine Folge der überaus starken Lichtentwicklung, die von diesen Punkten ausgeht und auf dunklem Grund sich zeigt. Indem also das Fernrohr vergrößert, verkleinert es die Sterne und bringt sie der Form näher, in der sie uns erscheinen sollen, der Form bloßer Lichtpunkte, aber keines erreicht dieß vollkommen, was auch nicht möglich ist, sondern der scheinbare Durchmesser verkleinert sich blos auf ein oder zwei Zehntel einer Sekunde. In der That müssen uns die Sterne eigentlich als bloße Punkte erscheinen gemäß

dem, was wir bereits im Allgemeinen von ihrer außerordentlichen Entfernung wissen, wofern sie nicht ungeheuer große Körper sein sollten, was sich aber dann auch durch viel größere Anziehungskräfte, d. h. durch viel größere Bewegungen derselben verrathen müßte, als die sind, welche wir wirklich beobachten. Erinnern wir uns aus dem dritten Abschnitt, daß der Durchmesser der Erdbahn auch an den nächsten Fixsternen eben nur einen Winkel macht, der keine zwei Sekunden betragen kann, wornach wir 200000 Sonnenweiten als ein Kleinstes von einer Sternweite festgesetzt haben: so kann auch umgekehrt eine Länge von mehr als 41 Millionen Meilen (Durchmesser der Erdbahn) von uns unter keinem größeren Sehwinkel gesehen werden, und wenn uns irgend ein Gegenstand in dieser kleinsten Entfernung auch nur einen Winkel von einer Sekunde darböte, so müßte sein wirklicher Durchmesser bereits eine Sonnenweite betragen. Ein solcher Körper wäre im Durchmesser über 100mal, folglich im Inhalt über eine Million mal größer als unsere Sonne, und ein solcher, denken wir, müßte sich durch seine Wirkungen auf die Umgebung verrathen; und wenn wir auch gerne zugeben, daß es Sonnen giebt, welche die unsrige an Inhalt und Masse Hunderte mal übertreffen mögen, so ist doch ein millionenmal größerer Körper etwas zu Unwahrscheinliches.

Es ist daher keine Aussicht vorhanden, daß wir über die wirkliche Größe der Sterne näheres erfahren, auch wenn ihre Entfernungen bekannt sind; denn mit Sicherheit kann blos dann auf die Größe eines Sterns geschlossen werden, wenn man außer seiner Entfernung den Gesichtswinkel kennt, unter dem sein Durchmesser uns erscheint; wir haben uns aber überzeugt, daß derselbe unmeßbar klein sein muß. Es giebt allerdings Mittel, aus anderen Umständen auf die Größe eines leuchtenden Körpers zu schließen, aber nur unter gewissen Voraussetzungen, die sich nicht beweisen lassen, also nur bedingt und unsicher, nämlich aus Vergleichung seiner Lichtstärke mit derjenigen der Sonne. Nehmen wir z. B. die Entfernung des Sirius, des hellsten aller Sterne, zu 4 Sternweiten an, was neulich wenigstens wahrscheinlich geworden ist; Lichtmessungen

(photometrische Vergleichungen seines Lichts mit dem der Sonne) haben das Ergebniß gehabt, daß das Siriuslicht von dem der Sonne etwa 20000 Millionenmal übertroffen wird. Nach dem Gesetz von der Abnahme der Lichtstärke mit der Entfernung kann man hieraus die Entfernung berechnen, in welcher die Sonne die Lichtstärke des Sirius hätte, und man findet 141400 Sonnenweiten oder $^3/_4$ einer Sternweite (da 20000 Millionen das Quadrat von 141400 ist), woraus, da Sirius 8 Sternweiten entfernt ist, folgt, daß sein Licht sovielmal das Sonnenlicht übertrifft, als $^3/_4$ in 8 enthalten ist, d. h. 11mal. Vorausgesetzt nun, daß das Licht beider Weltkörper an und für sich dieselbe Stärke hätte, so daß sie bei gleicher Größe und gleicher Entfernung gleich hell leuchten würden, so könnte das 11mal stärkere Licht blos eine Folge davon sein, daß Sirius 11mal mehr lichtstrahlende Oberfläche hätte, also im Durchmesser über 3mal, im Inhalt etliche und 30mal größer als die Sonne wäre. Man sieht aber von selbst ein, daß die genannte Voraussetzung eine unbewiesene und unbeweisbare ist, und daß auch die Messung der Lichtstärke schwerlich die erforderliche Schärfe haben kann, um solche Ergebnisse darauf zu gründen.

Es ist auch für unsere ferneren Betrachtungen von Belang, den Umstand festzuhalten, daß etwas, was in der Entfernung einer einfachen Sternweite unter dem Gesichtswinkel von einer Sekunde erscheint, eine Sonnenweite mißt, und 12 Sonnenweiten, wenn die Entfernung 12 Sternweiten beträgt u. s. w. Hiernach ist es zu beurtheilen, wenn man von den kleinen Bewegungen der Sterne, oder von der dichten Nähe zweier oder mehrerer Sterne spricht. Allein es kommen dabei auch noch anderweitige Rücksichten in Betracht. Wir sagen, zwei Sterne stehen einander nahe, wenn der Abstand derselben einen kleinen Winkel an unserem Auge macht, d. h. wenn die Gesichtslinien nach den beiden Sternen einen kleinen Winkel einschließen. Diese zwei Sterne können aber dann ebenso wohl in unermeßlichem Abstand der Gesichtslinie entlang hinter einander stehen, als es möglich ist, daß sie in nahezu gleicher Entfernung von uns neben einander stehen. Im letzteren Fall kann alsdann ihr

wirklicher Abstand nach obigem beurtheilt werden, allein nur in dem Fall, wenn man überdieß ein Urtheil über den Winkel hat, den die Gesichtslinie mit der Verbindungslinie der beiden Sterne macht. Ist dieser Winkel z. B. ein rechter, und beträgt der scheinbare Abstand etwa 5 Sekunden in der Entfernung von 10 Sternweiten, so beträgt der wirkliche Abstand 2 Sonnenweiten; ist aber jener Winkel kein rechter, so ist der wirkliche Abstand noch größer und man kann ihn leicht vollends berechnen, wenn man jenen Winkel kennt. Eine ähnliche Rücksicht kommt bei der Beurtheilung des Wegs in's Spiel, den ein Stern wirklich zurückgelegt hat, nämlich ob die Richtung derselben senkrecht zu unserer Gesichtslinie ist, oder nicht. Sehen wir z. B. einen Stern in einem Jahr um 5 Sekunden verrückt, und wissen wir, daß seine Bewegung rechtwinklig zu unserer Gesichtslinie vor sich gegangen ist, so hat er bei einer Entfernung von 10 Sternweiten einen Weg von 2 Sonnenweiten zurückgelegt, sein Weg ist aber größer, wenn jene Voraussetzung nicht stattfindet. Da wir nun hierüber nicht entscheiden können, so können wir auch über den **wirklichen** Betrag der Ortsveränderungen nichts Sicheres aussagen, die wir wahrnehmen.

Hiernach wird es nicht auffallen, daß man die Sterne so lange für **Fixsterne** gehalten hat, daß man kaum seit einem Jahrhundert ihren **eigenen Bewegungen** (mit Einschluß der Sonnenbewegung) auf der Spur ist, daß Jahrzehente und Jahrhunderte vergehen müssen, bis man durch Vergleichung genauer Beobachtungen aus entlegenen Zeiten Näheres darüber erfahren kann. Auch mußten erst die mannigfaltigen **scheinbaren Ortsveränderungen** bekannt sein, welche die Sterne zeigen, theils in Folge von Umständen, wie die Abirrung des Lichts, wovon im vorigen Abschnitt die Rede war, theils in Folge davon, daß die Ebenen und Linien ihre Lage ändern, in Beziehung auf welche man die Sternörter beobachtet und aufzeichnet. Denn da dieß die Ebenen des Aequators und der Ekliptik, sowie die Durchschnittslinie beider Ebenen oder die Nachtgleichenlinie, sind, welche die im vierten Abschnitt betrachteten Veränderungen erleiden, so müssen die Sternörter verschieden ausfallen, die zu

verschiedenen Zeiten beobachtet worden sind. Die Veränderung der Sternorte in Folge der Präcession ist auch im Verlauf der Jahre so bedeutend, daß sie schon im Alterthum von Hipparch wahrgenommen werden konnte; diejenigen aber, welche Folgen von der Abirrung des Lichts und von der Schwankung der Erdaxe sind, konnten erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts entdeckt werden, als die astronomische Beobachtungskunst durch Bradley zu ihrer jetzigen Höhe erhoben wurde. Solche scheinbare Bewegungen haben sich stets durch ihre Allgemeinheit, wie auch durch ihre Periode, wenn sie periodisch waren (wie Nutation und Aberration), verrathen, und sie konnten nach Entdeckung ihrer Ursache bei Untersuchung der Sternörter in Rechnung gezogen werden.

Aber eine unter den scheinbaren Ortsveränderungen der Sterne kann noch nicht in Rechnung gezogen werden, und man muß zufrieden sein, daß sie nur erst ihr Vorhandensein verrathen hat. Es ist dieß die von dem Fortrücken der Sonne im Weltraum herrührende scheinbare (oder parallaktische) Bewegung der Sterne, oder die Systemparallaxe. Von jener Bewegung der Sonne war im vierten Abschnitt die Rede, mit dem Ergebniß, daß man höchstens ihre gegenwärtige Richtung mit einiger Sicherheit kennt. Zwar wollen neuerdings die russischen Astronomen auch über ihren jährlichen Betrag etwas herausgebracht haben, indem sie erst aus den Bewegungen der Sterne erster Größe auf den Winkel schließen zu können glaubten, unter welchem der jährlich von der Sonne zurückgelegte Weg von diesen Sternen aus erblickt werde, und alsdann vermöge der bekannten mittleren Entfernung dieser Sterne sogar seinen wirklichen Betrag zu etwa 33½ Millionen Meilen anzugeben wagten, wornach diese Bewegung ungefähr viermal langsamer wäre, als die der Erde um die Sonne. Allein dieses Ergebniß ist in der That noch so unsicher, wie die Angaben über die mittleren oder durchschnittlichen Entfernungen der Sterne nach ihren verschiedenen Größen oder Helligkeitsgraden, worauf wir bald zurückkommen werden. Die Ortsveränderungen der Sterne, welche sich aus der Vergleichung der Sternverzeichnisse von verschiedenen Epochen ergeben, sind

daher stets blos beziehungsweise Bewegungen, Ergebnisse von der Bewegung der Sonne und derjenigen der Sterne, keineswegs die wirklich eigenen Bewegungen der letzteren; man pflegt sie übrigens Eigenbewegungen der Sterne zu nennen, da die beiden Bewegungen, die dabei zusammenwirken, sich noch nicht wohl sondern lassen. Allerdings hat sich nun bei einer sehr großen Anzahl von Sternen eine eigene Bewegung in diesem Sinn gezeigt, aber wie klein ist dieselbe? Bessel, dem man diese Erforschung hauptsächlich verdankt, hat unter fast 3000 Sternen, welche in den beiden verglichenen Verzeichnissen vorkommen, gegen 1400 Sterne gefunden, deren jährliche Bewegung ein Zehntel einer Sekunde (oder den 36000ten Theil eines Grads) beträgt, so wie sie von der Erde aus erscheint; bei 70 Sternen ergab sich mehr als eine halbe Sekunde und nur bei 18 mehr als eine Sekunde; die größte unter allen betrug nur wenig über 5 Sekunden jährlich und kommt merkwürdiger Weise einem ziemlich unscheinbaren Stern 6ter Größe im Schwanen zu.

Hieraus ergibt sich jedenfalls thatsächlich, daß die eigene Bewegung eine allgemeine Eigenschaft der Sterne ist, was man geneigt ist, schon daraus zu folgern, daß alle Sterne frei im Raum schwebende Körper und der bewegenden Kraft der allgemeinen Massenanziehung unterworfen sind. Allein es ergibt sich auch wenig weiter; über den Sinn dieser Bewegungen, ihren Betrag, ihre Richtung, ihre Mittelpunkte u. s. w. wissen wir so gut als Nichts und leider müssen wir beifügen, daß Jahrhunderte vergehen können, bis man durch die mit der Zeit sich anhäufenden Wirkungen aus der Vergleichung so genauer Beobachtungen, wie sie jetzt angestellt werden, etwas Näheres auf jene Fragen wird antworten können. Man sieht nach den obigen Betrachtungen leicht, daß ihre vollständige Beantwortung auch die Beantwortung einer anderen schweren Frage voraussetzt, der Frage nach den Entfernungen der Fixsterne. Hierüber hatte man bis auf die neueste Zeit nur das mehrfach und namentlich schon im dritten Abschnitt angeführte Ergebniß, daß auch die nächsten Sterne zum allermindesten 200000 Sonnenweiten entfernt sein

müssen. Ebendaselbst ist bereits angedeutet worden, worauf die Bestimmung dieser Entfernungen beruht, nämlich auf der Messung der sogenannten Jahresparallaxe, oder auf der Messung des Winkels, den der Durchmesser der Erdbahn, diese Grundlinie von mehr als 41 Millionen Meilen, an den Sternen bildet. Es handelte sich also darum, durch fortgesetzte Beobachtung eines Sterns während eines Jahrs, scheinbare (parallaktische) Ortsveränderungen desselben wahrzunehmen, welche eben nur von der Veränderung des Standpunkts bei dem Umlauf der Erde um die Sonne herrühren können. Wir haben im vorigen Abschnitt gesehen, daß man im vorigen Jahrhundert wirklich eine jährliche scheinbare Bewegung der Fixsterne entdeckte, daß diese aber eine ganz andere Ursache hatte. Man wird aber jetzt auch einsehen, daß, ehe man diese winzigen Jahresparallaxen messen konnte, man alle übrigen Ortsveränderungen der Sterne, namentlich auch die sogenannte eigene Bewegung derselben, so genau als möglich kennen mußte. So hängt hier Alles von einander ab, und der große Astronom, welcher die erste Sternparallaxe mit Sicherheit maß, mußte daher zuvor jene Kenntniß von den Eigenbewegungen sich verschafft haben, die wir so eben mitgetheilt haben.

In der That ist hierin neuestens Bahn gebrochen; wir kennen nun die Entfernungen einiger Sterne mit ziemlicher Sicherheit. Uebrigens ist es erst noch eine Frage, ob die unmittelbare Messung einer Fixsternparallaxe auch nach allen jenen Vorarbeiten gelungen wäre, denn sie ist wegen der Kleinheit der zu messenden Größen zu unsicher. Sie ist gelungen durch ein neues künstliches Mittel, nämlich durch Vergleichung des betreffenden Sterns mit einem anderen, der jenem scheinbar sehr nahe steht, aber unverhältnißmäßig viel weiter entfernt ist, oder man ist zunächst auf eine beziehungsweise Parallaxe ausgegangen, und konnte daraus auf ein Höchstes schließen, welches die Entfernung nicht überschreiten kann (auf eine obere Gränze, wie man längst eine untere hatte). Wie man nämlich durch Veränderung seines Standpunkts davon sich überzeugen kann, welcher von zwei entfernten Gegenständen, die sich nahezu decken, der

nähere ist, wie man sofort durch Messung der dabei sich ergebenden Winkel zwischen den beiden Gegenständen herausbringen kann, wie vielmal der eine näher ist, und mithin dessen wirkliche Entfernung annähernd bekommt, wofern der andere unverhältnißmäßig weiter entfernt ist: geradeso hier bei den Sternen. Bessel hat selbst einen möglichst gemeinfaßlichen Bericht über die feine Messung erstattet, der er den schon erwähnten Schwanenstern (Nro. 61 im Schwanen) unterwarf, indem er ihn mit zwei sehr kleinen Nachbarsternen ein Jahr hindurch verglich. Wir haben diesen Stern bereits erwähnt als den, der die größte Eigenbewegung zeigt und eben deßhalb vermuthete Bessel mit Grund, daß er einer der nächsten sein werde. Die Entfernung ergab sich zu 592000 Sonnenweiten oder fast 3 Sternweiten, die das Licht in mehr als 9 Jahren durchläuft, so daß die Unsicherheit dieser Bestimmung nur noch ein paar Tausend Sonnenweiten mehr oder weniger beträgt, was also die runde Zahl so wenig mehr berührt, als Zehntausende von Meilen die runden Anzahlen von Millionen Meilen, nach welchen man die Entfernungen der Planeten angibt, d. h. die Angabe ist ebenso genau, als wenn man die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde zu 20600000 Meilen angibt. Die große Genauigkeit dieser Bestimmung ist durch eine spätere fast ganz gleich ausgefallene Messung auf der Sternwarte zu Pulkowa bestätigt worden.

Ungefähr gleichzeitig mit Bessels Messung hatte Struve die Messung der Parallaxe eines Sterns erster Größe, der Wega in der Leyer nach demselben Princip unternommen und eine Entfernung von ungefähr 789000 Sonnenweiten oder gegen 4 Sternweiten herausgebracht. Uebrigens scheint diese weniger sicher zu sein, denn eine spätere Messung zu Pulkowa gab eine weit größere Entfernung, so daß man als Mittel zwischen beiden wohl 5 bis 6 Sternweiten annehmen darf. Ueberhaupt wurden in neuester Zeit auf der genannten russischen Sternwarte die Entfernungen noch 6 anderer Sterne ermittelt, allein es scheinen dieselben fast durchaus an Sicherheit weit unter der des Schwanensterns zu stehen. Es befinden sich darunter noch zwei Sterne erster Größe, der Arktur im Bärenführer,

dessen Entfernung noch größer als die der Wega, nämlich gegen 8 Sternweiten wäre, und die Ziege im Fuhrmann, deren Entfernung sich sogar auf zwanzig Sternweiten belaufen würde, (wobei aber die Unsicherheit von dem Beobachter selbst auf fünf Sternweiten berechnet wird), endlich auch der Polarstern, ein Stern zweiter Größe, dessen Entfernung (mit etwas mehr Sicherheit?) etwa fünfzehn Sternweiten betrüge, zu der das Licht schon fast ein halbes Jahrhundert (über 45 Jahre) brauchte. Endlich wurden von Engländern auf dem Kap ein paar Parallaxenmessungen vorgenommen, namentlich für den Stern erster Größe im Centauren, der für Europa zu den stets unsichtbaren Südsternen gehört, übrigens fast dem Sirius an Glanz gleichkommen soll, mit dem Ergebniß, daß dieser Stern nicht viel über eine einzige Sternweite ($1^1/_4$ bis $1^1/_2$ solcher Weltruthen) entfernt, mithin der nächste unter allen Sternen wäre. Nach denselben Beobachtungen auf der südlichen Halbkugel würde dagegen die Entfernung des Sirius selbst, des hellsten unter den Sternen erster Größe, nicht viel über vier Sternweiten betragen. Wir dürfen es übrigens uns nicht verhehlen, nicht nur daß das bisher Geleistete noch zu wenig ist, um ein allgemeines Urtheil über die Entfernungsverhältnisse der Fixsterne anzubahnen, sondern auch, daß die meisten von diesen wenigen Bestimmungen noch ziemlich unsicher sein mögen, weßhalb wir auch absichtlich die Besselsche Bestimmung des Schwanensterns vorangestellt haben, als das sicherste, was man überhaupt in dieser Hinsicht weiß.

Offenbar gehören nun diejenigen Sterne, deren Entfernung nur wenige Sternweiten beträgt, zu den nächsten, und dabei ist es ein bemerkenswerther Umstand, daß es keineswegs durchaus Sterne erster Größe sind. Man ist geneigt, bei diesen zu vermuthen, daß sie um ihrer Lichtstärke willen zu den nächsten Körpern der Fixsternwelt gehören, allein durch die angegebenen Ergebnisse wird diese Annahme selbst im Allgemeinen in Frage gestellt, und wir werden noch andere Thatsachen kennen lernen, welche eben dahin zielen, so daß man höchstens sagen darf, daß die Sterne erster Größe und die helleren Sterne überhaupt nicht zu den sehr entfernten Körpern unseres Systems

gehören, immerhin aber einen großen Spielraum der Entfernung haben mögen. Und in der That, warum sollte ein Stern erster Größe nicht auch eine größere Entfernung haben können, indem beträchtlichere Größe der Oberfläche, oder stärkere Lichtentwicklung oder beides zusammen die größere Nähe ersetzen kann? Deßgleichen auf der anderen Seite, warum sollten nicht auch Sterne von untergeordnetem Glanz (zweiter, dritter, ja selbst sechster Größe) zu den besonders nahen gehören können, indem ihre Unscheinbarkeit nur der kleineren Masse oder auch einer physischen Lichtschwäche zuzuschreiben ist? In dieser Beziehung ist eben der Schwanenstern besonders bemerkenswerth, auf dessen muthmaßliche Nähe wie gesagt seine beträchtliche Eigenbewegung geführt hat. Indessen dürfen auch die Beträge der Eigenbewegungen nicht als ganz maßgebend angesehen werden, d. h. wenn wir auch aus einem großen Betrag mit Sicherheit auf besondere Nähe schließen dürfen, so dürfen wir nicht umgekehrt aus einer unbeträchtlichen Eigenbewegung auf große Entfernung schließen, weil die Ortsveränderung eines Sterns uns nothwendig sehr klein erscheinen muß, wenn sie mit der Gesichtslinie einen sehr kleinen Winkel macht, d. h. einen Winkel, der sehr von einem rechten abweicht. Wo aber beides zusammentrifft, wie bei dem Centaurenstern, eine siriushafte Helligkeit und eine der beträchtlichsten Eigenbewegungen, da ist eine auffallende Nähe mehr als wahrscheinlich, und es sollte uns daher nicht Wunder nehmen, wenn dieser Stern überhaupt der allernächste Stern sein sollte.

So wenig aber nun hiernach die beziehungsweise Lichtstärke der Sterne oder ihre Unterscheidung in Sterne erster, zweiter, dritter Größe u. s. w. einen zuverlässigen Maßstab für ihre Entfernungsverhältnisse gibt: so ist doch ein Umstand höchst auffallend und führt uns stets wieder auf jene Betrachtung zurück, als einen bei dem Mangel besserer Mittel nicht ganz zu verschmähenden Anhaltspunkt. Dieser Umstand besteht darin, daß die Anzahl der Sterne so beträchtlich zunimmt in dem Maß, als ihre sogenannte Größe abnimmt, weßhalb man auch in neueren Zeiten darauf bedacht war, die verhältnißmäßige Lichtstärke der

Sterne genauer durch eigentliche (photometrische) Messungen festzusetzen. Die Lichtstärke unterscheidet sich zwar nach fast unmerklicher Abstufung, man hat aber solche Hauptstufen der Uebersichtlichkeit wegen festgesetzt, und die sechs ersten Helligkeitsgrade, die dem bloßen Auge von mittlerer Schärfe zugänglich sind, sind schon von den alten Astronomen angenommen worden. Zur ersten Größe zählt man nur 18 oder 19 Sterne, zur zweiten schon über 60, zur dritten, vierten, fünften, sechsten beziehungsweise etwa 200, 400, 1000, 2300 Sterne; von der siebenten Größe sind vermuthlich wenigstens 10000 Sterne am ganzen Himmel vorhanden, und die stark steigende Zahl jeder folgenden Größe darf man gar nicht mehr, auch nur beiläufig, zu schätzen wagen (höchstens in einzelnen Gegenden des Himmels). Was ist die Ursache hievon? Man wird nicht umhin können anzunehmen, daß die verschiedene Entfernung hiebei im Spiel ist oder mitwirkt, zumal wenn man auf die Millionen der kleinsten telescopischen Sterne und der Milchstraßensterne hinblickt, wovon wir bereits uns überzeugt haben. Man sieht hiernach namentlich deßwegen mehr Sterne höherer Nummer als niederer, weil jene (bei allen beträchtlichen Ausnahmen) im Allgemeinen entfernter und damit über einen größeren Raum vertheilt sind. Wenn man aber sofort aus den Zahlverhältnissen der Sterne verschiedener Ordnungen auf durchschnittliche Entfernungsverhältnisse und überdieß, vermöge der wenigen wirklich bekannten Abstände, auf die wirklichen mittleren Entfernungen der Sterne erster, zweiter, dritter Größe u. s. w. (bis über die neunte hinaus und bis zu der letzten, welche Herschels zwanzigfüßiges Telescop unterschied) schließen wollte, so gehört dieß ins Gebiet der Hypothesen.

Zu der Wahrnehmung der zahlreichen Eigenbewegungen und insbesondere derjenigen unserer Sonne, zur Messung einiger Sternparallaxen gesellt sich als die dritte wichtige Erweiterung unserer Kenntnisse von der Fixsternwelt die Entdeckung der physischen Doppelsterne und ihrer gegenseitigen Bewegung, und zwar geht diese noch etwas weiter zurück, als die beiden anderen, nämlich bis zu Herschel dem Vater, ist aber in neuerer Zeit besonders durch eine große Arbeit von W. Struve gefördert worden.

Man hat bei sehr vielen Sternen wahrgenommen, daß sie im Fernrohr in zwei (auch manchmal in mehrere) Sterne auseinander treten. Die Erscheinung ist in der That sehr häufig, man kennt über 3000, wo der scheinbare Abstand 32 Sekunden nicht übersteigt (nach allen Abstufungen von einer und selbst weniger als einer Sekunde an), noch viel größer ist die Anzahl, wenn man bis zu einigen Minuten scheinbaren Abstands fortgeht, und unter den 2641 Doppelsternen, welche Struve wiederholten, genauen Beobachtungen unterworfen hat, sind 64 dreifache, 3 vierfache und 1 fünf- oder gar sechsfacher (das sogenannte Trapez im Orionnebel), und wenn man bei den mehrfachen Sternen bis zu dem größeren scheinbaren Abstand von 75 Sekunden fortgeht, so sind es 113 dreifache, 9 vierfache und 2 mehrfache. Merkwürdig ist, daß die Doppelsternerscheinung unter den helleren Sternen verhältnißmäßig häufiger ist, als unter den lichtschwächeren; denn unter 100 Sternen findet Struve von der ersten bis zur dritten Größe 18, von der vierten bis fünften 13, von der sechsten bis siebenten nur 8, bei noch schwächeren bis zur neunten Größe endlich nur 3 oder 4 Doppelsterne. Das Helligkeitsverhältniß der Einzelsterne ist verschieden, völlige Gleichheit findet sehr selten Statt, und die Anzahl der Fälle, wo der Nebenstern bedeutend schwächer ist, übertrifft die der Fälle, wo er gleicher ist, etwa ums Dreifache. Eine ganz besondere Merkwürdigkeit ist endlich das farbige Licht der Doppelsterne. Man hat in dieser Beziehung gegen 600 hellere Paare untersucht, und 375 von gleicher Farbe vom glänzenden Weiß bis zum Grün gefunden, 116 Paare von ähnlichen Farben (gelb und weiß, blau und weiß, grün und blau, auch gelb sowie blau in verschiedenen Graden), endlich 104 von entgegengesetzten Farben (gelb und blau). Hiebei ist das Röthliche zum Gelben, das Purpur- und Aschfarbige zum Blauen gerechnet, und am allerhäufigsten ist der Begleiter oder der (schwächere) Nebenstern, wenn er überhaupt eine Farbe hat, bläulich (173 Fälle der Art). Hiebei ist endlich bis zum Befremden merkwürdig, daß die Vergleichung der Herschelschen und Struveschen Angaben für ein und dasselbe Paar manchmal verschieden sind, und zwar

auf eine Weise, welche sich aus der Verschiedenheit der optischen Werkzeuge nicht wohl erklären läßt. Was soll man erst von diesen Farbenänderungen denken? Wir lassen die Farbenfrage einstweilen auf sich beruhen und fragen erst nach der Ursache der Doppelsternerscheinung überhaupt.

Es kann bloß scheinbare Nähe sein, indem die Gesichtslinien nach den beiden (oder mehreren) Sternen nahezu zusammenfallen, während dieselben in sehr großer Entfernung hinter einander stehen können, dieß sind die optischen Doppelsterne. Es kann aber auch wirkliche Nähe sein, und dann ist ein physischer Verband anzunehmen, vermöge dessen diese physischen Doppelsterne besondere Systeme zusammengehöriger Weltkörper sind. Ist dieß schon wahrscheinlich wegen der großen Anzahl dieser Sternpaare, welche die erwartbare Häufigkeit jenes optischen Zufalls weit übersteigt (dieß findet sogar noch bis zu Sternpaaren von 5 Minuten scheinbaren Abstands Statt): so ist es bei einer beträchtlichen Anzahl thatsächlich festgestellt durch gegenseitige Bewegungen der beiden Sterne in Beziehung auf einander, welche man beobachtet hat, und welche man von den fortschreitenden Eigenbewegungen wohl unterscheiden muß, die wir oben betrachtet haben. Da ferner diese Eigenbewegung beiden Sternen gemeinschaftlich zukommen muß, wenn dieselben ein physisches Ganzes bilden, gleichwie Erde und Mond mit einander um die Sonne wandeln, so bot die Wahrnehmung einer gemeinsamen Eigenbewegung ein zweites Mittel dar, um die physischen Doppelsterne von den optischen zu unterscheiden, auch in Fällen, wo es noch nicht möglich war, eine gegenseitige Bewegung zu erkennen. Denn die Anzahl der letzteren ist freilich noch verhältnißmäßig gering, indem man unter den 2640 Paaren nur bei 58 die Stellungsveränderung mit Gewißheit erkannt, bei 39 sie sehr wahrscheinlich und bei 66 wenigstens angedeutet gefunden, bei den übrigen aber noch keine Spur wahrgenommen hat. Dagegen läßt die gemeinsame Eigenbewegung auf eine viel größere Menge von physischen Doppelsternen schließen; denn (um nur ein Beispiel anzuführen) unter den 560 Sternen, welche Argelander verglichen hatte, um aus

ihrer Bewegung das Fortrücken der Sonne nachzuweisen, waren 53 Struvesche Doppelsterne (d. h. deren scheinbarer Abstand 32 Sekunden nicht übersteigt), und wieder 41 derselben, die schon Herschel beobachtet hatte, gehören zu denen, deren Eigenbewegung erwiesen ist; von diesen 41 Paaren zeigten 40 die nämliche Eigenbewegung, und nur ein einziger stellte sich entschieden als optischer Doppelstern heraus; unter 27 anderen Sternpaaren bis zu 7 Minuten scheinbaren Abstands erwiesen sich bei dieser Untersuchung 14 als Systeme, 9 als optische Verbindungen und bei 4 blieb es zweifelhaft.

In den physischen Doppelsternen haben wir nun die Erscheinung vor uns, daß zwei Sonnen in Folge ihrer gegenseitigen Massenanziehung um einander sich bewegen. Zwei Körper welche sich gegenseitig anziehen, beschreiben nach den Gravitationsgesetzen gleichzeitig elliptische Bahnen um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, und zwar derjenige die größere, welcher die kleinere Masse hat. Ist die Masse des einen sehr klein im Verhältniß zu der des anderen, wie z. B. die Masse der Erde bezüglich der Sonnenmasse, so verschwindet auch die Bewegung des Hauptkörpers gegen die des anderen, und es ergibt sich ein eigentliches Trabantenverhältniß, oder die Erscheinung einseitiger Umläufe. Bei den physischen Doppelsternen kommt nun entschieden auch der entgegengesetzte Fall vor, d. h. es gibt mehrere, wo die Einzelsterne ziemlich dieselbe scheinbare Größe oder Lichtstärke besitzen und wo daher wegen der gemeinschaftlichen Entfernung von uns auch auf gleichstehende wirkliche Größe und Masse geschlossen werden darf. Dieß ist die eine Klasse derselben, die andere aber ist die, wo der eine Stern sich durch auffallend größere Lichtstärke als der Hauptstern beurkundet, und wo daher das Verhältniß mehr oder weniger einem Trabantenverhältniß sich nähern mag, oder dem Verhältniß eines beziehungsweise ruhenden Centralkörpers und eines umlaufenden Begleiters. Sowie einmal gehörig viele Beobachtungen eines Doppelsterns eine längere Zeit hindurch angestellt sind, kann man die Keplerschen Gesetze darauf anwenden und die Elemente seiner Bahn berechnen, d. h. Umlaufszeit und

scheinbare Größe der Bahn. In der That hat man solche Rechnungen schon auf manche Doppelsterne angewendet und mit befriedigender Uebereinstimmung die beobachteten Bewegungen daraus erklärt. Die berechneten Umlaufszeiten verschiedener solcher Sterne belaufen sich von 43 und 80 bis zu 452 und 628 Jahren, aber auch auf etliche Jahrtausende; man muß indeß beifügen, daß bei den meisten die Zeiträume, aus denen Beobachtungen der gegenseitigen Stellungen vorliegen, noch zu klein sind, um in dieser Beziehung sichere Ergebnisse zu liefern. Alle diese Doppelsterne gehören zu denen im engeren Sinn; bei keinem der Sternpaare von mehr als 32 Sekunden Abstand hat die Beobachtung bis jetzt eine Stellungsänderung ergeben, so daß da, wo ein Gravitationsverband bei solchen Sternen wirklich Statt findet, die Umlaufzeiten wohl schon in Zehntausende von Jahren laufen müssen.

Wenn nun aber außer den bezeichneten Bahnelementen eines Doppelsterns auch dessen Entfernung von der Erde bekannt ist, so wird damit ein neuer Aufschluß möglich, nämlich die Bestimmung der Masse des Sternpaars im Verhältniß zur Sonnenmasse. In der That folgt dann aus der scheinbaren Größe der Bahn (wie jedes Gegenstands, dessen Entfernung man kennt) die wirkliche Größe, also in Verbindung mit der Umlaufszeit die Geschwindigkeit, deren Vergleichung mit derjenigen der Erde um die Sonne auf das Verhältniß der bewegenden Kräfte, und folglich auf das der Massen schließen läßt. Und hier müssen wir unseren Schwanenstern zum Drittenmal erwähnen; er ist ein Doppelstern, dessen beide Körper fast die gleiche Helligkeit von der fünften bis sechsten Größe darbieten. Leider ist es fast noch zu früh, um den Ergebnissen der auf ihn angewandten Rechnung hinreichende Sicherheit zuschreiben zu können. „Man kann, sagt Bessel, aus den bisherigen Beobachtungen bloß erkennen, daß die Umlaufszeit nicht kürzer ist, als 5½ Jahrtausende, und daß der größte Halbmesser der Bahn unter keinem kleineren Winkel sich zeigen wird, als dem von 15 Sekunden; diese Gränzen bloß auf der einen Seite (nicht kleiner) sind allerdings noch nicht hinreichend zu einer Massenbestimmung,

allein sie machen wenigstens wahrscheinlich, daß die Masse dieses Doppelsterns nicht beträchtlich kleiner oder größer ist, als die Hälfte der Sonnenmasse.“ Welches Ergebniß, einen Fixstern mit einiger Näherung gewogen zu haben! Da nun hiernach die Sonne, schließt Bessel, in Vergleichung mit jenem Sternchen weder für ein besonders großer, noch für ein besonders kleiner Körper zu halten ist, so bestätigt dieses erste Ergebniß der Art die Ansicht, daß auch die Sonne ein gewöhnlicher unter den zahllosen Sternen ihres Systems sei. Auch der Centaurenstern ist ein physischer Doppelstern, und man will auch von ihm behaupten, daß seine Masse kleiner als die Sonnenmasse sei, indeß sind hier die Grundlagen jedenfalls noch viel unsicherer. Bemerken wir endlich noch, daß wir hier eine Doppelsternweite, d. h. die Entfernung zweier zu einem Doppelstern verbundenen Sonnen vor uns hätten, die nicht weniger als 45 bis 50 Sonnenweiten betrüge (denn so viel würden jene 15 Sekunden in der Entfernung des Schwanensterns ausmachen), daß es also wohl Sonnen giebt die sich viel näher stehen als die Fixsterne der unsrigen, die also wohl keinem Doppelsystem angehört.

Wie die Doppelsterne das einfachste Beispiel sind von teleskopischen Sterngruppen, so sind die physischen Sternpaare das einfachste Beispiel besonderer physischer Systeme in unserem Sternsystem, und den Uebergang zu den größeren Sondersystemen machen die vielfachen Sterne, (worunter man z. B. auch doppelte Doppelsterne aufführt, d. h. Systeme von zwei physischen Sternpaaren). Bei den größeren Sterngruppen (größer nämlich theils nach der Anzahl, theils nach den scheinbaren Abständen der Sterne), die unserem Sternsystem angehören und die von den im vorigen Abschnitt betrachteten Sternhaufen wohl zu unterscheiden sind, zeigt das Fernrohr in der Regel bedeutend mehr Sterne als das bloße Auge, und es erhebt sich wieder die Frage, ob es blos optische Gruppen, oder Gravitationssysteme seien. Dahin gehört das Haupthaar der Berenice und die Plejadengruppe, wo das Fernrohr 50 bis 60 helle Sterne zeigt, die einen mäßigten und abgesonderten Raum des Himmels einnehmen. Gerade bei der letzterwähnten Gruppe

ist es nun auch überaus wahrscheinlich geworden, daß ihre Sterne im physischen Verband stehen, sowie daß Alcyone der Centralstern derselben sei, eine Wahrnehmung von Bessel, welche Mädler bei seiner Centralsonne benutzt hat. Auch darf man überhaupt sagen, daß die Wahrscheinlichkeit eines besonderen physischen Verbands mit der Menge der Sterne in einer Gruppe steigt, welche auf einen verhältnißmäßig kleinen abgesonderten Raum sich projicirt. Allein wenn man hiernach zahlreiche Sondersysteme innerhalb unseres großen Systems vermuthen kann, so ist es doch noch bei sehr wenigen auch nur bis zur Wahrscheinlichkeit aus den Beobachtungen nachgewiesen, und dergleichen Nachweisungen erstrecken sich meist nur erst auf kleinere Gruppen kaum über ½ Grad scheinbaren Abstands, die man wohl auch noch zu den Doppelsternverbindungen in weiterem Sinn zählt.

Von den physischen Sondersystemen, deren Dasein keinem Zweifel unterliegt, kehren wir zu der Frage nach einem allgemeinen Gravitationsverband in unserem Sternsystem zurück. Die Folgen desselben wären in den fortschreitenden Eigenbewegungen der Sterne zu erkennen, und umgekehrt müßten diese die thatsächlichen Belege für oder gegen jenen Verband liefern. Diejenigen Eigenbewegungen, welche der Bewegung des ganzen Systems zuzuschreiben sind, vermischen sich jedenfalls mit beziehungsweisen Bewegungen der einem größeren Sondersystem angehörigen Sterne, und unterscheiden sich nur bei den kleineren hinlänglich, auf deren Kenntniß wir bis jetzt beschränkt sind. Wenn man nun alle Eigenbewegungen nur aus den gegenseitigen Anziehungen der sich zunächst stehenden Sterne erklären und unsere ganze Sternenwelt aus solchen kleineren Sondersystemen zusammensetzen wollte, so würde man auf bedeutende Schwierigkeiten stoßen, sie sind für diese Annahme zu groß. Wenn man z. B. die bedeutenden Eigenbewegungen der beiden Doppelsterne im Schwanen und im Centauren, deren Entfernungen wir kennen, aus den Anziehungen zwischen ihnen und unserer Sonne herleiten wollte, so findet sich die wirkliche Masse der Sonne viel zu klein dazu; flüchtet man sich aber von da zu der an sich gewagten Annahme einer größeren unsichtba-

ren Masse, die in der Nähe dieser drei Körper stünde, so wären von einer solchen auch eigenthümliche Störungen der Planeten zu erwarten, dergleichen die Erfahrung nicht kennt. Daraus folgt aber freilich der allgemeine Systemverband bis zu den fernsten Milchstraßensternen noch nicht; der Fall, daß die Sterne große Sondersysteme bildeten, deren einzelne Glieder auf Zehntausende, Hunderttausende und Millionen sich beliefen, daß wir also in den beobachteten Eigenbewegungen nur erst die Bewegungen in unserem Sondersystem vor uns hätten, ist noch ebenso gut möglich, als daß es schon die allgemeinen Bewegungen in dem größeren Ganzen wären. Diese Frage zu entscheiden, ist die Zeit noch nicht da, genug daß die bisherigen Erfahrungen uns auf ein sehr viele Glieder umfassendes System hinweisen, sei es nun das ganze Sternsystem oder ein Sondersystem innerhalb desselben.

Welcher von beiden Fällen aber stattfinden mag, so dürften wir den allgemeinen Verband nicht in der Herrschaft eines überwiegenden Centralkörpers suchen, einer Centralsonne, welche alle Sterne des Systems an Anziehungskraft und Masse so überträfe und ihre Bewegungen so lenkte, wie unsere Sonne ihre Planeten. Einen solchen Centralkörper giebt es nicht, weil ein solcher durch seine ungeheure Masse sich verrathen haben müßte. Nicht etwa durch ihren Glanz, denn es könnte eine dunkle Masse sein, und man könnte es sogar artig finden, daß gleichwie die dunkeln Planetenmassen durch das Band der Schwere an Sonnen gekettet sind, um von ihnen zugleich Licht und Wärme zu empfangen, so ihrerseits die Sonnen wieder schaarenweise an einer dunkeln Riesenmasse durch dasselbe Band der Schwere aufgehangen wären. Aber die Riesenmasse müßte sich durch die Wirkungen ihrer riesenhaften Anziehungskraft verrathen haben, d. h. wir müßten an den Sternen in ihrer näheren Umgebung stärkere Eigenbewegungen wahrgenommen haben, als die beobachteten sind, und dieselben müßten sich überdieß nach gewissen Richtungen hin, nämlich mit wachsender Entfernung von jener Masse, allmälig vermindern, wie dieß bei den Planeten der Fall ist. Die Eigenbewegungen sind für diese An-

nahme zu klein, wie sie in der obigen zu groß waren. Wohl hat man früher solche Begriffe mit einer Centralsonne der Fixsternwelt verbunden, und dieselbe dann auch blindlings im Sirius als dem hellsten der Sterne gemuthmaßt; aber von solchen Vorstellungen ist jetzt nirgends mehr die Rede, und man würde auch der schon angeführten Mädlerschen Hypothese Unrecht thun, wenn man glauben wollte, daß nach derselben die Alcyone diese Rolle spielen sollte.

Es ist aber noch ein anderes Gravitationsverhältniß in einem Sternsystem denkbar, welches sich ebensowohl auf jene entfernten teleskopischen Sternhaufen, wie auf den größeren Sterninbegriff anwenden läßt, von welchem unsere Sonne zunächst ein Glied ist. Denken wir uns der Anschaulichkeit wegen einen bestimmten Fall, einen kugelförmigen Sternhaufen, in welchem die einzelnen Körper gleichmäßig vertheilt und durch (im Vergleich mit ihrer Größe) sehr beträchtliche Abstände getrennt sind. Ein solcher kann durch die gegenseitigen Anziehungen dieser Körper so regiert werden, daß eine gemeinschaftliche Bewegung derselben um den Schwerpunkt des Systems entsteht, indem die Gesammtanziehung aller dem Schwerpunkt näher befindlichen Massen die bewegende Kraft für die entferntere Masse ist. Diese Kraft ist dann stets nach dem Schwerpunkt gerichtet und um so größer, je größer der Abstand von demselben, so daß die einzelnen Körper in gleichen Zeiten Ellipsen um den Schwerpunkt beschreiben, wobei sie sich also um so schneller bewegen müssen, je größer diese Ellipsen sind oder je weiter sie von dem Schwerpunkt abstehen. Ob nun die Eigenbewegungen in unserem System mit diesem Gesetz einigermaßen übereinstimmen, läßt sich noch keineswegs entscheiden, und die von Mädler herausgebrachte Uebereinstimmung in Beziehung auf den durch die Alcyone bezeichneten Punkt ist unzuverlässig, wie wir schon berichtet haben. Hier aber ist nachzutragen, daß dieß der Sinn der Mädlerschen Centralsonne ist, daß sie nämlich nichts anderes sein soll als der Schwerpunkt des Sternsystems, dessen Ort im Raum alsdann, wie Mädler schließen zu können glaubte, ungefähr durch den Stern Alcyone bezeichnet wäre, etwa so, wie

der Ort des Pols durch den Polarstern, weßhalb auch besser Centralstern gesagt würde, als Centralsonne.

Dieß ist Alles, was wir derzeit über die Gravitationsverhältnisse in der Fixsternwelt sagen können; die Veränderungen, welche alle die großen und zahlreichen anziehenden Kräfte seit der Epoche der genauen Beobachtungen in der Stellung der Sterne hervorgebracht haben, gänzlich unmerklich für grobe Beobachtungen, sind noch zu gering, um weitere Schlüsse zu gestatten, aber wiederum bedeutend genug, um bedeutende Erweiterungen unserer Kenntnisse in den kommenden Jahrhunderten anzubahnen. In der That bilden die erzählten Wahrnehmungen eine so ahnungsvolle Ausbeute, welche ganz der neuesten Zeit angehört, daß der Kosmos sich hier, um dieses Zeitinteresses willen, eine größere Ausführlichkeit mit geschichtlichen Andeutungen erlaubt hat. Es erübrigt zum Schlusse des Abschnitts einiges über die Lichtveränderungen zu sagen, die man bei manchen Fixsternen wahrgenommen hat.

Eine hieher gehörige Erscheinung kam bereits bei Gelegenheit der farbigen Doppelsterne zur Sprache. Auch das Licht einzeln stehender Sterne zeigt manchmal einen farbigen Ton, der besonders im Fernrohr hervortritt, während übrigens das weiße dem unserer Sonne ähnliche Licht das vorherrschende ist. Jener Farbenton ist meistens gelb und röthlich, man spricht aber auch von grünlicher und bläulicher Färbung. Ebenso scheinen auch hier Farbenveränderungen vorzukommen; die Alten führen den Sirius als roth an, während er uns vollkommen weiß erscheint. Bei anderen Sternen ergeben sich Aenderungen im Glanz oder in der Größenklasse, wenn man ältere Angaben mit den neueren vergleicht. So galten sonst die Sterne Alphard in der Wasserschlange und Denobola im Löwen als Sterne erster Größe, während ihnen jetzt nur die zweite, dem ersteren kaum, zuzuschreiben ist. Umgekehrt wird Atair im Adler von den Alten als Stern zweiter Größe aufgeführt, während er jetzt entschieden zur ersten Größenklasse gehört. Kastor war sonst heller als Pollux, jetzt ist es umgekehrt. Hauptsächlich gehören aber hieher die sogenannten veränderlichen

oder periodischen Sterne und die vorübergehenden (oder temporären) Sterne.

Es giebt unter den Sternen welche, die eine regelmäßig wiederkehrende Vermehrung und Verminderung ihres Lichts zeigen, die einen gleichförmiger als die anderen, in längeren oder kürzeren Zeiträumen, sowie zwischen engeren oder weiteren Gränzen, ja es giebt ein paar Fälle, wo dieser Wechsel von sehr hellem Licht bis zu völligem Verschwinden sich erstreckt. Man kennt etwa 15 solcher Sterne genauer, so daß man die Perioden des Wechsels angeben kann, welche von wenigen Tagen bis zu vielen Jahren sich erstrecken; bei etwa 20 anderen sind Lichtveränderungen wenigstens mit einiger Gewißheit erkannt worden. Die beiden merkwürdigsten dieser Sterne sind Mira im Wallfisch und Algol im Perseus. Die Veränderlichkeit des ersteren wurde schon zu Ende des 16. Jahrhunderts von dem Entdecker der Sonnenflecken bemerkt; seine Periode beläuft sich auf 334 Tage, und der Lichtwechsel geht im allgemeinen so von statten, daß er sein hellstes Licht 14 Tage behält, dann 3 Monate bis zur gänzlichen Unsichtbarkeit abnimmt, sofort 5 Monate lang unsichtbar bleibt, um alsdann während der übrigen 3 Monate zuzunehmen. Sein hellstes Licht kommt manchmal dem eines Sterns zweiter Größe gleich, „manchmal," denn er gelangt nicht bei jeder seiner Erscheinungen zu demselben Helligkeitsgrad; auch soll er einmal 4 Jahre lang gar nicht zum Vorschein gekommen sein (nach Hevel vom October 1672 bis 1676), was sich übrigens ganz einfach daraus erklärt, daß seine Periode vom Jahr nicht sehr verschieden ist, daß also die Zeit seiner Helligkeit mit der seiner Unsichtbarkeit wegen des Zusammenscheins mit der Sonne einige Jahre nach einander zusammenfallen kann. Viel kürzer noch ist die Periode des gewöhnlich als ein Stern zweiter Größe erscheinenden Algols; sie beträgt nämlich nur gegen 69 Stunden, und der Hergang dabei ist folgender. Nachdem er 62 Stunden mit ungetrübtem Glanz geleuchtet hat, nimmt er plötzlich und rasch ab, so daß er in 3½ Stunden zur vierten Größe herabkommt, um alsdann wieder eben so lang bis zur zweiten Größe

zuzunehmen; eine Erscheinungsweise, die man seit 1782 fortwährend beobachtet hat.

Man erzählt endlich von Sternen, die nur eine Zeitlang sichtbar gewesen, plötzlich erschienen und wieder (auf immer?) verschwunden sind. Die berühmtesten Beispiele solcher „Weltbegebenheiten“ sind die Sterne Tychos und Keplers. Im Jahr 1572 den 11. November zeigte sich nach Tychos Bericht im Sternbild der Cassiopeja plötzlich ein Stern mit siriushaftem Glanz und nahm sofort zu, bis er den Jupiter überstrahlte und wie Venus bei Tag sichtbar war; noch im December desselben Jahrs fieng er an abzunehmen und war im März 1574 gänzlich verschwunden. Desgleichen sah Kepler im Jahr 1604 im Fuß des Schlangenträgers einen neuen Stern, heller als die Sterne erster Größe, der das Jahr darauf spurlos verschwunden ist und vor dem Verschwinden durch mehrere Farben hindurch gespielt haben soll. Vielleicht sind diese Sterne ebenfalls periodisch, aber so daß die Periode sehr lange dauert und daher noch keine Wiedererscheinung bemerkt worden ist; ja da auch in den Jahren 945 und 1260 in der Gegend des Tychonischen Sterns neue glänzende Sterne erschienen sein sollen, so vermuthet man, daß dieser eine Lichtperiode von etwa 300 Jahren oder darüber haben und somit der vorigen Klasse angehören dürfte. Der andere Stern Keplers, welcher im Jahr 1600 im Schwan in erster Größe sich zeigte und, nachdem er 19 Jahre von ihm beobachtet worden, im Jahr 1621 verschwand, wurde 1655 von Cassini wieder in dritter Größe und von Hevel 1665 gesehen; späterhin fand man ihn wieder als Stern sechster Größe, in welcher er noch jetzt gesehen wird. Offenbar kann dieser Stern früher, wenn er die sechste Größe nicht überstieg, gar wohl übersehen worden sein. Noch eine Erscheinung dieser Art wird vom Jahr 1670 berichtet, wo ein neuer Stern dritter Größe im Kopf des Schwanen entdeckt wurde, der nach 2 Monaten verschwand, 1671 im März als Stern vierter Größe und im folgenden März als Stern sechster Größe wieder erschien, seitdem aber nicht wieder gesehen worden ist. Eine seltsame vorübergehende Lichtänderung wurde in neuester Zeit von

dem jüngeren Herschel an einem Stern des Schiffs Argo wahrgenommen, der stets als Stern zweiter Größe ohne alle Veränderlichkeit gegolten hatte; im December 1837 erschien er nämlich als ein Stern erster Größe mit zunehmendem Glanz bis zum Januar, wo er dem Centaurenstern gleich kam und dann wieder abnahm. Man findet endlich auch im Alterthum ein paar Angaben über neue Sterne von außerordentlichem Glanz, namentlich soll eine solche Erscheinung im Jahr 125 vor Christus den großen Hipparch zur Anlegung des ersten Sternverzeichnisses bewogen haben; allein die älteren Nachrichten sind zu unsicher, um Gewicht darauf legen zu können.

Es ist bereits die Vermuthung ausgesprochen worden, daß die vorübergehenden Lichtänderungen und die periodischen in Eine Klasse von Erscheinungen gehören könnten, sofern die ersteren nur unvollkommen bekannte periodische Veränderungen sein möchten, indeß können es auch vereinzelte Weltbegebenheiten sein. Daß wir darin eine höchste merkwürdige Klasse von Erscheinungen vor uns haben, ist klar, aber leider müssen wir die Antwort auf die Frage nach der Ursache schuldig bleiben. Wir wollen uns nicht näher auf die zahlreichen Hypothesen einlassen, welche darüber ausgesprochen worden sind. Wahrscheinlich sind für die verschiedenen Erscheinungen dieser Klasse verschiedene Ursachen aufzusuchen, jedenfalls denkbar. Bei Algol z. B. kann man an eine Bedeckung durch einen dunkeln Körper denken (eine Sternfinsterniß); bei dem Uebergang aus einer Größenklasse in die andere, die im Verlauf von vielen Jahrhunderten sich herausgestellt hat, an Näherung oder an Entfernung im Sinn der Gesichtslinie, je nachdem der Stern aus der zweiten in die erste oder aus dieser in jene übergegangen ist. Es hat auch nicht an Versuchen gefehlt, alle diese Erscheinungen, sammt den Farben der Sterne und der Doppelsterne insbesondere, aus einem gemeinschaftlichen optischen Prinzip abzuleiten, nämlich aus den Bewegungen des Beobachters, des Sterns und des Lichts. Da es sich aber um reine Hypothesen handelt, so wollen wir uns mit der großen Thatsache begnügen, daß es in der Fixsternwelt eigenthümliche Lichtveränderungen

gibt, welche dereinst merkwürdige Aufschlüsse geben werden, sei es über die Natur und die Gesetze des Lichts, sei es über wesentliche Verschiedenheiten mancher Sterne von unserer Sonne, deren Natur uns ja auch noch so viele Räthsel darbietet, wie wir jetzt alsbald sehen werden.

Beim Uebergang zu unserer Sonne mit ihrem Reich dürfen wir es nicht versäumen, den Gedanken auszusprechen, daß dieses unser Sonnensystem keine vereinzelte Erscheinung im Weltall und insbesondere in unserem Sternsystem sein werde, daß vielmehr wohl auch andere dieser Sonnen eine Planetenwelt beleuchten mögen. Allein auf diese Wahrscheinlichkeit beschränkt sich auch Alles, was wir von planetenartigen dunkeln Sterntrabanten sagen dürfen. Höchstens dürfen wir noch darauf aufmerksam machen, was für eigenthümliche Systeme sich ergeben, wenn wir auch den Doppelsonnen eine Planetenwelt beigeben und die Möglichkeit uns vorhalten, daß jeder von beiden Sternen eines physischen Doppelsterns seine Planeten haben kann, welche demselben der Nähe wegen zunächst gehorchen, von dem anderen aber bedeutend gestört werden, während andere von beiden zugleich ebenmäßig abhängen können, als eigenthümliche Doppelsternplaneten und zweideutige Diener zweier Herren.

VII.

Das Sonnensystem, dessen Planet die Erde ist.

Aus dem Gebiet, wo bloße Lichtpunkte unserer Wahrnehmung sich darbieten und aus meist noch ungemessenen Weiten das Daseyn mächtiger lichtstrahlender Weltkörper verkünden, gelangen wir nun abwärtssteigend in das Reich der Sonne, dessen Weltkörper sich, freilich zum großen Theil nur dem Fernrohr, als Gegenstände von meßbarem Umfang darstellen, deren einzelne Punkte selbst wieder Gegenstände unserer Beobachtung werden können. Es wird gut sein, wenn wir uns sogleich vorhalten, was in dieser Beziehung das Fernrohr zu leisten vermag, damit wir nicht zu große Aufschlüsse über die Weltkörper unserer Nachbarschaft erwarten, sei es über die Königin Sonne, sei es über die größeren und näheren unserer Miterden, Venus, Mars, Jupiter, die fürs bloße Auge die schönsten Sterne des Firmaments sind, sei es über den nächsten Nachbar und Diener der Erde, den Mond, den wir aber erst im folgenden Abschnitt näher betrachten, da er zum engsten der Körpersysteme gehört, welche die Naturgeschichte des Himmels in absteigender Linie uns vorführt, zum System der Erde selbst, und seiner Nähe wegen wieder einen viel höheren Grad von Einzelheit gestattet, als die übrigen Körper des Sonnensystems. Wir folgen dabei dem trefflichen Ueberschlag Bessels von den Leistungen des Fernrohrs.

Man hat es, sagt Bessel, sowohl durch Spiegeltelescope als durch große achromatische Fernrohre (die sogenannten Refractoren) dahin zu bringen gewußt, daß man einen Gegenstand, der am Auge einen Winkel von einer Sekunde ein-

schließt, unter den günstigsten atmosphärischen Umständen so bestimmt sieht, daß man unterscheiden kann, ob er rund oder beträchtlich von der runden Figur verschieden ist. Diese Sekunde beträgt in der Entfernung des Mondes $1/4$ Meile, in der 400mal größeren der Sonne 100 Meilen, in der wieder 5mal größeren des Jupiter 500 Meilen. Was also diese Größe in Wirklichkeit erreicht, kann auf diesen Weltkörpern seiner Figur nach unterschieden werden; was unter derselben bleibt, kann, wenn es hell genug ist, zwar erkannt werden, aber als ein Punkt ohne Figur. Vom Mond aus gesehen würde also z. B. die Stadt Königsberg, wofern sie sich durch Licht und Farbe hinlänglich von ihrer Umgebung unterschiede, nicht nur erkannt, sondern auch ihrem Umriß nach einigermaßen beurtheilt werden können; von der Sonne aus würde der zwischen Elbe und Memel liegende Theil des preußischen Staats als ein Punkt ohne Figur, ganz Preußen aber als ein etwas länglichter Fleck erscheinen; vom Jupiter aus würde sich ganz Europa nur als ein Punkt zeigen. Um noch anschaulicher einzusehen, welche Einzelheiten der Erdoberfläche man bei diesen Verkleinerungen noch würde wahrnehmen können, muß man sich die Erde nach den ihnen entsprechenden Maßstäben dargestellt denken. Soll aber eine Viertelmeile auf einer Karte gerade noch sichtbar werden, so muß der Maßstab derselben 30 Meilen auf einen Zoll bringen; der Theil Preußens zwischen Elbe und Memel wird also einen Raum von 3 Zoll einnehmen, und die nach diesem Maßstab verfertigte Karte wird so speciell sein, als man die Erde vom Mond, oder umgekehrt den Mond von der Erde sieht. Was man also auf einer solchen Karte nicht mehr erkennen kann, können wir auch auf dem Monde nicht mehr erkennen; auf der Sonne aber bleiben uns alle Einzelheiten verborgen, welche man auf einem Erdgloben von $1/8$ Zoll Durchmesser nicht würde darstellen können, und auf dem Jupiter sehen wir nur so viel Einzelheiten, als ein Erdglobus von der Größe eines Nadelkopfs enthalten könnte. Diese Schätzungen sind dem Fernrohr eher zu günstig gemacht, und werden daher auch für eine Folgezeit, die noch mehr Kunst und Kostenaufwand an dieselben

gerückt haben wird, nicht beträchtlich unter der Wahrheit bleiben. Sie setzen überdieß voraus, daß die zu unterscheidenden Gegenstände durch Licht und Farbe hinreichend von ihren Umgebungen abstechen; wenn dieß nicht der Fall ist, so geben nicht mehr die Einzelheiten, welche man bei den erwähnten Maßstäben durch schwarze Striche auf weißem Grund darstellt, sondern das was schwächere Unterschiede der Farbe wiedergeben können, das gewünschte anschauliche Bild des unmittelbar Sichtbaren.

So weit Bessel. Wir bemerken nur noch, daß auch sehr viele von den Weltkörpern selbst, die wir sofort zu betrachten haben, zur telescopischen Welt gehören; so die Monde der anderen Planeten, der Ring des Saturn, die kleinen Planeten, deren Anzahl neuestens auf acht erhöht worden ist, der neue große Planet jenseits des Uranus, die Mehrzahl der Kometen (nicht nur bei größeren Entfernungen, sondern selbst in ihrer Sonnen- und Erdnähe). Wir beginnen nun unsere flüchtige Musterung des Sonnensystems mit der Sonne, unserem Fixstern, gleichwie wir die Musterung des Sternsystems mit der Milchstraße, unserem Nebelfleck, im vorigen Abschnitt begonnen haben.

Die Größe und Masse der Sonne sind zu wichtige Dinge für die Zurechtfindung der Erde im Weltall, als daß sie nicht schon im ersten Buche hätten berührt werden sollen. Stellen wir die Angaben darüber nochmals zusammen mit dem, was sich weiter daran anknüpft. Die Sonne übertrifft die Erde im Durchmesser 112mal, in der Oberfläche über 12000mal, im Inhalt über 13hundertausendmal; 108 Sonnenkugeln aneinander gereiht würden von der Erde zur Sonne reichen, wozu 12000 Erdkugeln erforderlich sind. Die Masse der Sonne ist aber nicht in demselben Verhältniß größer als die der Erde, in welchem sie diese dem Rauminhalt nach übertrifft, sondern nur rund 350000mal, woraus folgt, daß der Sonne eine 4mal geringere mittlere Dichte zukommt, oder eine mittlere Dichte, welche die des Wassers 1⅓mal übertrifft (specifisches Gewicht des Ebenholzes). Die Schwerkraft an der Oberfläche der Sonne ist nicht nach Maßgabe der Masse, sondern nur über 28mal

größer als die Schwerkraft an der Erdoberfläche, weil die Entfernung vom Mittelpunkt der Schwere bei der Sonne zugleich 112mal größer ist. Die Menge des Stoffs also, welche auf der Erde 1 Pfund wiegt, hat auf der Sonne ein Gewicht von über 28 Pfunden, ein Körper fällt auf der Sonne in der ersten Sekunde durch 428 Pariser Fuß, jede Kraft hätte daselbst einen 28mal größeren Widerstand zu überwinden. Welch andere Verhältnisse ergeben sich im Vergleich mit der Erde, schon wenn man die geringere Dichte des Sonnenstoffs mit der viel größeren Schwerkraft zusammenhält! Wenn wir aber erst die ungeheure Licht- und Wärmeentwicklung in's Auge fassen, deren Heerd die Sonne ist und in die wir das Wesen der Sonnennatur zu setzen haben!

Aber freilich das Licht der Sonne, blendend hell für unsere Augen, ist unbegreiflich dunkel für unseren Verstand. Was ist die eigentliche Quelle dieser außerordentlichen Ausstrahlung? Und was dieselbe auch sein mag, sollte nicht zu erwarten sein, daß die Sonne über lauter Ausstrahlen sich selbst aus-, d. h. zu Ende strahle, daß ihr Ausstrahlungsvermögen, worin es seine Ursache haben mag, sich allmälig erschöpfe? Wir können in der That nichts entscheidendes weder hiefür anführen noch für das Gegentheil, d. h. für ungeschwächte Erhaltung der Sonnenstrahlung, denn daß eine Abnahme in den geschichtlichen Zeiten sich bis jetzt nicht bemerklich gemacht hat, dieß kann auch blos eine außerordentliche Langsamkeit der Abnahme andeuten; auf der anderen Seite aber darf man sich schwerlich auf die Lichtveränderungen berufen, die man an Sternen wahrgenommen hat, weil wir über deren eigentliche Ursache gänzlich im Unklaren sind. So mag also die Sonne immerhin altern. An eine Abnahme ihrer Masse dürften wir dabei zunächst nicht denken, zumal auf dem Standpunkt der Lichtwellenlehre, sofern hiernach die Ausstrahlung in einer bloßen Mittheilung einer schwingenden Bewegung an den Weltäther besteht, und wir möchten fast hierin eine neue Empfehlung der Lehre von den Licht- (und Wärme-) Schwingungen finden. Eher könnte man an eine durch Erkaltung bewirkte Einschrumpfung des Sonnenkör-

pers denken, also an eine *Abnahme des Sonnendurchmessers*; allein man dürfte nicht erwarten, daß dieß den Beobachtungen des scheinbaren Durchmessers der Sonne merklich geworden sein sollte. Denn man muß sich erinnern, daß eine Sekunde in der Entfernung der Sonne 100 Meilen ausmacht, daß also der wirkliche Durchmesser um soviel abnehmen könnte, bis diese Abnahme den genauesten Beobachtungen merklich würde, und daß dieß erst in 12 Jahrtausenden einträte, wenn der Durchmesser der Sonne täglich um einen Fuß abnähme. Allein es ist, wie gesagt, ebenso wohl möglich, daß die Atomerschütterungen, oder die Bewegungen, worauf die Strahlung beruht, auf ungeheure Zeiträume in ungeschwächter Kraft erhalten werden.

Ueber die eigentliche *Ursache der Erregung und Erhaltung dieser Bewegungen* aber steht uns kein Urtheil zu. Und wenn wir auch an die eine oder andere Entstehungsart von Licht und Wärme, die wir auf der Erde kennen, bei der Sonne zu denken hätten, so müßten wir zugleich an einen Maßstab denken, unendlich verschieden von dem aller irdischen Hergänge. Wir werden z. B., was im dritten Buche weiter ausgeführt wird, auf einen Urzustand der Erde geleitet, wo sie im Feuer flüssig war, wo aller vergasbare Stoff in ihrer Atmosphäre sich befand und alles Verbrennliche verbrannte; sie mag damals mit eigenem Licht flammenartig geleuchtet haben. Sollen wir uns den Zustand der Sonne ähnlich vorstellen, nur nach Maßgabe der Massen in unendlich höherem Grad und darum auch auf unendlich längere Zeiträume anhaltend? Oder sollen wir an Hergänge denken nach Art derer, wodurch die Erde im Nordlicht zeitweise leuchtend wird, nur wieder nach einem so unverhältnißmäßig größeren Maßstab, bei welchem eigentlich die artliche Aehnlichkeit selbst aufhört? Oder sollen wir an ganz andere Umstände denken, wie sie die Erde gar nicht darbietet, wobei aber auch jede weitere Vorstellung von der Sache von selbst aufhört? Wir wissen es nicht; aber wir können nicht umhin, den Gedanken auszusprechen, daß *sonnenhaftes Selbstleuchten* durch eine *sonnenhafte Masse bedingt* sein

mag. Allerdings kennen wir die Fixsternmassen noch viel zu wenig, um diesen Gedanken erfahrungsmäßig zu belegen, und wir wollen auch nicht behaupten, daß beides immer zugleich vorhanden sei, weßhalb wir im fünften Abschnitt die Möglichkeit dunkler Weltkörper von sonnenhafter Größe zugegeben haben, als es sich darum handelte, die Mannigfaltigkeit des Daseins auch der Möglichkeit nach zu ermessen. Ja wir können in letzterer Hinsicht auch noch den Gedanken von Encke hinzufügen, daß starke Lichtentwicklung und große Dichtigkeit in einem sich ausschließenden Verhältniß stehen mögen.

Was wir weiter von der Sonne aussagen können, gründet sich auf die Beobachtung der Sonnenflecken. Diese haben den älteren Herschel auf die Ansicht vom Bau der Sonne geleitet, welche nach ihrem wesentlichsten Merkmal heutzutage die allgemeine Ansicht der Astronomen geworden ist, daß nämlich der an sich dunkle Sonnenkörper von einer mächtigen Lichthülle (Photosphäre) umgeben sei. Diese soll nach Herschel selbst wieder aus mehreren Schichten bestehen, einer äußeren starkleuchtenden und einer inneren von schwächerem Glanz. Sogar Bessel, ein Feind der Phantasieen über die unbekannten Naturen der Weltkörper, drückt sich wie folgt aus. „Das Licht der Sonne verhindert uns eben zu erfahren, wie sie beschaffen ist; denn es kommt nicht von ihr selbst, sondern von einer Hülle, die ihren Körper umgibt und deren hin und wieder sich ereignendes Zerreißen einen Blick in das Dunkel darunter gestattet; der Abstich aber von dem allerhellsten Licht zu diesem Dunkel ist zu groß, als daß man auf der Sonne selbst etwas sehen könnte. Die Trennungen der Lichthülle, die sogenannten Sonnenflecken, sind übrigens meistens von kurzer Dauer und unbeständiger Form, bald fluthet das Lichtmeer wieder über ihnen zusammen, sowie es überhaupt große und heftige Bewegungen zeigt, welche heute seine Oberfläche gleichmäßig hell, morgen vielleicht schon mit unzähligen grauen Punkten besäet erscheinen lassen."

Dieß ist die jetzige, von den Beobachtungen an die Hand gegebene Ansicht von den Sonnenflecken, über die man ehedem

die wunderlichsten Ansichten aufgestellt hat, wurden sie ja anfangs unter anderem sogar für sonnennahe Weltkörper gehalten und „sidera austriaca“ genannt (nach dem österreichischen Jesuiten Scheiner, einem ihrer ersten Beobachter). Daß man aber an dergleichen nicht denken dürfe, mußte bald aus ihrer Veränderlichkeit und Regellosigkeit geschlossen werden; auch zeigen sie sich im Vergleich mit den ganz schwarzen Flecken, welche die unteren Planeten bei ihren Vorübergängen an der Sonnenscheibe darbieten, so sehr dunkel nicht, sondern nur lichtgrau. Bedenkt man überdieß noch, daß alle irdischen Flammen und die glühendsten festen Körper dunkel erscheinen, wenn sie zwischen die Sonne und das Auge gehalten werden, so muß man mit dem jüngeren Herschel zugestehen, daß der Sonnenkörper, auf den man durch jene Oeffnungen hinabblickt, so dunkel er erscheint, gar wohl im Zustand des heftigsten Glühens sich befinden könnte (wenn auch nicht müsse?). Lernen wir die Flecken noch näher kennen.

Die Veränderlichkeit der Sonnenflecken deutet mit größter Entschiedenheit auf eine gasigflüssige, also flammenartige — denn was ist Flamme anderes als leuchtendes Gas? — Hülle von großer Mächtigkeit; „indem sie ihre Gestalt ändern, aufbrechen und sich zertheilen oder zusammenfließen, zeigen sie alle Merkmale der großen Beweglichkeit, welche nur dem flüssigen Zustand angehört, und der außerordentlichen Unruhe, die dem gasigen Zustand zukommt.“ Die schwärzlichen Kernflecken sind von einem minder dunkeln Hof halbschattenartig umgeben und verschieben sich gegen denselben bei ihrem Fortrücken auf der Sonnenscheibe; aus der Art dieser Verschiebung aber hat man mit Sicherheit geschlossen, daß die Kernflecken auf einer kleineren inneren Kugel sich bewegen in einer Vertiefung, die man wohl auf mehrere Hunderte von Meilen schätzt. So gewiß aus diesen Wahrnehmungen das Wesen der Sonnenflecken hervorgeht, so unsicher mag freilich die Angabe über die etwaige Dicke der Hülle sein, die man daraus entnehmen wollte (etwa 500 Meilen). In der Nähe der Flecken bemerkt man meistens hellere Stellen, die sogenannten Sonnenfackeln, unter welchen man

sich ungeheure wogenartige Anschwellungen des Flammenmeers zu denken hat, welche natürlicher Weise den Rissen oder Trennungen desselben zur Seite stehen müssen, zur abermaligen Bestätigung der obigen Ansicht. Auf die Annahme einer gedoppelten Hülle aber hat eben der hellere Hof der Flecken geführt, ja man glaubte selbst von einer dritten dunkeln wolkenartigen Schicht sprechen zu müssen.

Lassen wir dergleichen und bedenken wir vielmehr, wie ungemein grofsartig die Bewegungen in der Lichthülle sind, welche unserem Blick durch die Sonnenflecken und ihre Veränderungen erschlossen sind. Die Größe der Flecken ist zum Theil außerordentlich, dergestalt, daß sie bis zu 10000 Meilen im Durchmesser haben, also weit größer sind als die ganze Erdoberfläche, Fleckengruppen aber nehmen manchmal den vierten bis dritten Theil des Sonnendurchmessers ein und erstrecken sich also auf 50 bis 60 Tausend Meilen; gleichwohl aber ist gleichzeitig nie über den hundertsten Theil der uns zugekehrten Sonnenfläche mit Flecken bedeckt. Damit nun ein Fleck von jener Größe binnen sechs Wochen sich schließe, denn keiner dauert wohl länger, müssen sich seine Ränder täglich um Hunderte von Meilen nähern. Ein merkwürdiger Umstand ist es, daß die Flecken auf eine Zone beschränkt sind, welche sich bis zu 30 Grad zu beiden Seiten des Sonnenäquators erstreckt; wohl aber zeigt auch der übrige Theil der Sonnenscheibe wenigstens das schon erwähnte punktirte maserige Aussehen, welches in jener Zone der Fleckenbildung voranzugehen scheint. Auch diese Sonnenporen sind in beständiger Veränderung begriffen, und der jüngere Herschel macht darüber die Bemerkung, daß Nichts diese Erscheinung so treu darstelle, wie das langsame Niedersinken flockiger chemischer Niederschläge in einer durchsichtigen Flüssigkeit, so daß man sich des Gedankens kaum erwehren könne, daß die Sonnenhülle ein Gemenge flammender Materie mit einem durchsichtigen Mittel sein möge.

Zuweilen zeigt sich die Sonne ganz fleckenlos, ja man spricht von ganzen Jahren, wo sich keiner gezeigt haben soll, wobei man aber bedenken muß, wie viele Tage die Sonne der

Beobachtung durch Wolken entzogen wird. Dagegen hat man in verschiedenen Jahren von 33 bis 333 Flecken und Fleckengruppen gezählt und der fleckenlosen Tage von 0 bis 140. Etwas Gesetzmäßiges aber in der Erscheinung der Sonnenflecken, wie z. B. Perioden ihrer Häufigkeit und Größe u. dgl., hat sich bis jetzt nicht herausgestellt, so wenig als ein Einfluß auf die Erwärmung der Erde, und in Folge davon auf das Wetter. Es läßt sich dieß auch kaum erwarten, denn wenn auch bedeutende Strecken der Sonnenoberfläche durch die Trennungen der Lichthülle strahlenlos werden, so strahlen dagegen, wie wir gesehen haben, die Umgebungen, wo sich gleichzeitig die Lichtwogen häufen, um so stärker.

Durch ihr regelmäßiges Fortrücken an der Sonnenscheibe haben die Sonnenflecken noch einen Aufschluß gegeben, sie haben nämlich die Axendrehung der Sonne kennen gelehrt. Das Vorhandensein einer in westöstlicher Richtung vor sich gehenden Axendrehung der Sonne, deren Aequator von der Erdbahn nicht sehr abweicht, folgt mit Entschiedenheit aus dem gemeinsamen Fortrücken der Flecken in einerlei Sinn und gleichlaufenden Richtungen, wobei sie am einen Sonnenrande verschwinden und am anderen wieder erscheinen, was man bei allen dabei vorkommenden Veränderungen der Flecken stets wahrgenommen hat. Aber etwas unsicher wird freilich durch die Veränderlichkeit der Schluß auf die näheren Umstände der Axendrehung, nämlich auf ihren Zeitraum und auf die Lage der Axe, und daher mag es als ein noch immer nicht gehörig festgestelltes Ergebniß betrachtet werden, daß die Sonne in 25½ Tagen um ihre Axe sich dreht, welche mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel von 82 Graden macht. Sie ist im Verhältniß zu der Größe des sich drehenden Körpers bedeutend schneller als die der Axendrehung der Erde, denn ein Punkt des Sonnenäquators legt einen 112mal größeren Weg in der nur 25½mal größeren Zeit zurück, hat also eine über viermal größere Geschwindigkeit als ein Punkt des Erdäquators. Die hieraus entspringende Schwungkraft am Aequator ist ungefähr 5½mal kleiner als auf der Erde, und scheint auch keine merk-

liche Abplattung des Sonnenkörpers zur Folge gehabt zu haben, denn nach allen Messungen ist derselbe eine vollkommene Kugel. Hiebei kann man nach dem, was im zweiten Abschnitt verhandelt worden ist, noch fragen, ob dieser Mangel an Abplattung lediglich von jener beträchtlich kleineren Schwungkraft herrührt, oder zugleich davon, daß bei der Sonne eine sehr bedeutende Verschiedenheit zwischen der Dichte im Inneren und an der Oberfläche stattfindet, dergestalt, daß ein sehr dichter Kern von einer sehr mächtigen lockeren Masse umgeben wäre. In der That stimmt dieß andrerseits sehr gut zu der Vorstellung, die man sich aus anderen Gründen von dem Bau des Sonnenkörpers nach Obigem machen möchte.

Außer den Sonnenflecken konnten noch vollständige Sonnenfinsternisse (oder nahezu vollständige) über die Sonne oder vielmehr über die weitere Umgebung der eigentlichen Sonnenscheibe belehren. In der That sieht man bei solchen Ereignissen die dunkle Scheibe des Monds von einem hellen weißen Ring umgeben, dessen scheinbare Breite 5 bis 6 Minuten beträgt, in Wirklichkeit also 30 bis 36 Tausend Meilen. Es kann kein Zweifel sein, daß dieß die erleuchtete Sonnenatmosphäre ist, welche die Lichthülle umgiebt, die uns stets scharf begränzt erscheint und durch ihren maßlos überwiegenden Glanz die viel weiter sich erstreckende Atmosphäre für gewöhnlich unsichtbar macht. Ohne Zweifel ist mit jenem Ring die äußerste Gränze der Sonnenatmosphäre noch keineswegs gegeben, auch erstreckt sich dieselbe gewiß, wie bei jedem Weltkörper, in der Aequatorzone um ein Namhaftes weiter als anderwärts; allein eine zu weite Erstreckung würde man ihr zuschreiben, wenn man die Erscheinung des Thierkreislichts, wovon ebendeßhalb anderswo die Rede sein wird, der Sonnenatmosphäre zuschreiben wollte, wie schon geschehen ist, indem diese dann bis über die Erdbahn hinaus sich erstrecken müßte. Vielmehr ist klar, daß keine Gashülle eines Weltkörpers weiter sich erstrecken könnte, als bis in die Entfernung, wo Schwere und Schwungkraft einander gleich sind, in welcher, wie die Mechanik lehrt, ein Trabant gleichzeitig mit der Axendrehung des Weltkörpers um diesen sich bewegen

würde. Die Mechanik lehrt aber ferner, daß die Sonnenatmosphäre in keinem stärkeren Verhältniß abgeplattet sein kann, als in dem, wornach der größte Durchmesser, im Aequator der Sonne, $1^{1}/_{2}$ mal so groß wäre, als der kleinste, und daß daher die Sonnenatmosphäre auch in der Gleichenzone nicht weiter als bis zu $^{9}/_{20}$ des Merkuralstands, d. h. etwas über $3^{1}/_{2}$ Millionen Meilen (von der Sonnenmitte an gerechnet) sich erstrecken könnte, was aber wohlverstanden nur die äußerste Gränze der Möglichkeit ist, hinter der die wirkliche Erstreckung weit zurückbleiben mag. Wir kommen auf ähnliche Betrachtungen bei der Erdatmosphäre im vierten Buch zurück.

Welcher Art nun auch die unfaßbaren Hergänge sein mögen, wodurch die Hülle von leuchtendem Gas oder das Flammenmeer der Sonne sich erzeugt, so muß gewiß die Wärme auf der Sonne einen ganz außerordentlichen Grad erreichen, welcher die stärksten Hitzegrade, die wir auf der Erde künstlich hervorzubringen vermögen, namentlich durch Vereinigung der Sonnenstrahlen mittelst Brennspiegel und Brenngläser, bei weitem übertreffen muß. Man hat allerlei Erfindungen gemacht, um etwaige Sonnenbewohner gegen diese überschwengliche Hitze zu schützen, z. B. Trennung des Sonnenbodens von der Lichthülle mittelst einer durchscheinenden Schicht, welche fast alle Strahlen zurückwerfe und nur soviel von Licht und Wärme durchlasse, als die guten Leute ertragen möchten, welche auch die Sonne bevölkern sollten, und die schon an der eigenen Schwere genug zu tragen hätten! Wir verkämpfen uns nicht für einen möglichen Wohnort vernünftiger Wesen, da es ja im Weltall sonst Platz genug für solche giebt, und sind vielmehr überzeugt, daß die Sonne ihrer Natur nach die Bedingungen zum Leben nicht enthält, so wenig als irgend eine ihrer Schwestern. Wohl aber werden wir sofort diese Bedingungen im Reiche der Sonne antreffen, zu dem wir jetzt übergehen.

Das Reich der Sonne zerfällt durch die Planetenregionen in eben so viele Provinzen, beziehungsweise Unterreiche. Man kennt deren bis jetzt neun mit sechzehn Planeten, denn in einer derselben befinden sich mehrere kleine

Planeten, von welchen bis jetzt acht bekannt geworden sind, welche sich in der fünften Region zwischen Jupiter und Mars in verschlungenen Bahnen umhertreiben. Die Planetenregionen selbst kreuzen sich nicht, sie sind im Gegentheil durch beträchtliche Zwischenräume von einander getrennt, dergestalt, daß jeder folgende mehr als anderthalbmal und weniger als zweimal so weit von der Sonne entfernt ist als der vorhergehende. Es ist auch das wesentlichste Merkmal der Planetennatur, daß diese Weltkörper, fest gebaut und massenhaft, auch an feste Räume gebunden sind, und dadurch stehen diese erdenhaften Ansiedler im Reiche der Sonne den gewiß myriadenweise vorhandenen Kometen gegenüber, jenen luftigen Nomaden des Sonnensystems, welche die verschiedenen Planetenregionen regellos durchkreuzend von Provinz zu Provinz schweifen. Während wir in einer Planetenregion ein System gleichgestellter Weltkörper, in mehreren anderen Systeme von Körpern haben, welche sich wieder einem Hauptkörper ebenso unterordnen, wie die Planeten selbst der Sonne, die Mondsysteme: liegt uns in unserer eigenen Region ein Beispiel von einer Unzahl kleiner Körperchen vor, die nicht mehr als selbständige Weltkörper zu betrachtenden Asteroiden, welche in großen Schwärmen die Sonne zu umkreisen scheinen und manchmal vereinigt oder schaarenweise mit der Erde zusammentreffen als Meteorsteine und Sternschnuppen (Feuerkugeln). In derselben Region treffen wir auch einen nebelartigen (?) Ring an, welcher die Sonne umgiebt und uns zeitweise als das sogenannte Thierkreislicht sichtbar wird; denn wir nehmen keinen Anstand, mit Humboldt diese beiden Erscheinungen dem Sonnensystem als Glieder einzureihen. Wir werden dieselben im nächsten Abschnitt, welcher von der Erdregion insbesondere handelt, näher besprechen; wagen aber hier die Vermuthung auszusprechen, daß ähnliche Erscheinungen wohl auch anderen Planetenregionen zukommen mögen, worauf wir bei Auseinandersetzung der allgemeinen Merkmale des Sonnensystems zurückkommen, wenn wir erst von den einzelnen Weltkörpern desselben nach den drei Hauptklassen, Planeten, Monden und Kometen gehandelt haben werden.

Die Planeten sprechen wir im Allgemeinen als erdenartige Weltkörper an; welche mächtige Unterschiede aber zwischen denselben stattfinden, welch großen Spielraum so zu sagen die Planetennatur darbietet, mag uns schon nach dem Bisherigen klar sein. Ehe wir aber auf die inneren Unterschiede näher eingehen, mögen ein paar Worte über ihre äußeren Erscheinungen, die Planetenconstellationen, und über ihr allmäliges Bekanntwerden gesagt werden. In dieser Beziehung unterscheiden wir alte und neue Planeten, in jener untere und obere. Die unteren, näher der Sonne stehend als die Erde, Venus und Merkur, erscheinen uns nur als Morgen- und Abendsterne, je nachdem sie westlich oder östlich von der Sonne stehen, sie sind unsichtbar in ihren beiden Zusammenscheinen (obere und untere Conjunction) und am sichtbarsten in ihren größten westlichen und östlichen Ausweichungen. Die oberen Planeten dagegen, weiter von der Sonne entfernt als die Erde, Mars, die kleinen, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, deren Bahnen Erde und Sonne zumal umgeben, kommen auch in Gegenschein mit der Sonne, wie der Mond, und sind uns dann als völlige Nachtsterne sichtbar sowie in größtmöglichem Glanz, weil sie dann der Erde am nächsten stehen. Auffallend sind nur drei dieser Körper, Venus, Mars und Jupiter, welche für's bloße Auge zu den hellsten Sternen des Himmels gehören (Venus sogar in heller Dämmerung sichtbar), gut ausfindbar ist auch Saturn und wenigstens in südlicheren Gegenden Merkur (nicht so bei uns, Kopernikus soll ihn nie gesehen haben!). Diese fünfe sind daher die alten Planeten, sechs mit der Erde, die durch Kopernikus in ihre Zahl kam (während vorher an ihrer Statt Sonne und Mond als Planeten galten, deren Siebenzahl die Woche zur Folge hatte). Die übrigen zehn sind die neuen Planeten, deren Entdeckung 1781 mit dem Uranus begann, als ein Stern sechster Größe für das bloße Auge noch sichtbar, aber unter den schon so zahlreichen Sternen dieser Größe bei seinem langsamen Lauf sich verbergend. Darauf folgte die erste Hälfte der Kleinplaneten von 1801 bis 1807; die Entdeckung der anderen Hälfte aber, sowie die des entferntesten Planeten

jenseits des Uranus gehört der neuesten Zeit 1845 bis 1847 an, womit indeß die Planetenentdeckungen noch keineswegs geschlossen sein dürften.

Die beiden ersten Entdeckungen dieser Art sind als das bloße Werk des Zufalls zu betrachten, aber aus Gelegenheit großer astronomischer Arbeiten; Uranus nämlich wurde als Planet erkannt von Herschel bei Gelegenheit seiner Himmelsmusterung mit dem Riesenfernrohr (nachdem er schon früher als Fixstern beobachtet und in die Sternverzeichnisse eingetragen worden war); Ceres aber wurde entdeckt von Piazzi bei Anlegung seines großen Sternverzeichnisses, des größten bis auf seine Zeit. Nachdem sofort die Wiederaufsuchung dieses Erstlings der Kleinplaneten im folgenden Jahr 1802 Olbers abermals zufällig den zweiten, die Pallas, in die Hände geliefert, wurden alle übrigen durch Suchen gefunden, als Ergebnisse einer „Planetenjagd,“ welche sofort in den Thierkreisgegenden des Himmels angestellt wurde in der Voraussetzung, daß noch mehrere vorhanden sein möchten. Wirklich folgten noch zwei derselben bald nach, 1803 die Juno von Harding, 1807 die Vesta wieder von Olbers entdeckt, worauf ein langer Stillstand eintrat, bis 1845 durch Henke's Asträa die zweite Folge eröffnet und im Jahr 1847 mit drei weiteren vermehrt wurde, zuerst mit Iris in England von Hind, dann mit Hebe, wieder von Henke, letztlich mit Flora, wieder von Hind entdeckt. Ganz anders aber ging es mit der Entdeckung des Neptun zu, des Planeten, „auf den die Gravitationsrechnung das Fernrohr gerichtet hat.“ Nichtübereinstimmung der [redacted]beobachtungen mit der Rechnung, seit 1820 bemerkt und unerklärlich durch die Störungen der bisher bekannten Körper, ließen entschieden auf die Wirksamkeit eines unbekannten entfernteren und großen Planeten schließen, ein Schluß, der seit der Mitte der dreißiger Jahre vielfach gezogen wurde. Aber erst um die Mitte unseres Jahrzehnts begann man zu rechnen in Deutschland, England und Frankreich; nämlich man unternahm es, die Elemente und damit den jeweiligen Ort des neuen Planeten aus den Uranusstörungen herauszurechnen, und die französische Rechnung von Leverrier

wurde im Herbst 1846 durch die wirkliche Auffindung des berechneten Planeten von Galle zu Berlin gekrönt. So sehr auch hier ein seltsamer, noch nicht gehörig aufgeklärter Zufall im Spiel gewesen zu sein scheint, sofern die Neptunbeobachtungen gar nicht mit den berechneten Elementen übereinstimmen, dergestalt, daß die Rechnung die Umlaufzeit um etwa 40 Jahr zu groß gegeben hat: so ist doch kein Zweifel, daß der neue Planet durch seine Wirkungen sich verrathen und durch Rechnung der Beobachtung überliefert worden ist.

Obgleich die Lichtenbergische Weissagung, das neunzehnte Jahrhundert werde die Anzahl der Planeten verdoppeln, bereits vor dessen Mitte mehr als in Erfüllung gegangen ist, da zu den sieben Planeten, mit denen das alte Jahrhundert schied, nunmehr neun neue hinzugekommen sind: so begnügen wir uns doch keineswegs mit denselben, sondern erwarten noch mehr Planetenentdeckungen von der Zukunft. Ohne Zweifel wird der neueste Hergang am Uranus mit der Zeit am Neptun sich wiederholen; auch er mag nach einem längeren Zeitraum von Beobachtungen, durch Nichtübereinstimmung derselben mit der Rechnung, einen noch entfernteren Nachbarplaneten verrathen; aber vielleicht ist derselbe der Entfernung wegen nicht mehr sichtbar, wofern nicht auch die optische Kraft der Fernrohre wiederum bis dahin gesteigert worden ist. Jeder neue Planet, der hier Gegenstand der Beobachtung wird, kann auf diese Weise einen weiteren verrathen bis zum wirklich letzten, dessen Bahn die Gränzen des Sonnensystems nach Außen bezeichnen würde; sowie aber einer nicht mehr gesehen werden kann, so ist es nicht mehr möglich, einen folgenden zu entdecken, und die Planetenreihe schließt auf dieser Seite mit einem unsichtbaren Körper, den man blos aus seinen Wirkungen kennt, wenigstens so lange nicht neue optische Mittel die Gränze abermals hinausrücken. Ebenso ist das in der fünften Region sich uns darbietende „Planetennest“ mit den acht Körpern noch schwerlich erschöpft; ja es könnten mehrere Dutzende dieser Klein- oder Halbplaneten von mehr als mondhafter Kleinheit vorhanden sein, bis ihre Masse zusammen einen einzigen Planeten mittlerer Größe

ersetzte. Man könnte aber auch fragen, ob das Vorhandensein solcher Doppelplaneten oder mehrfacher Planeten (in der Planetenwelt eine Erscheinung wie die der doppelten und mehrfachen Sonnen in der Fixsternwelt!) auf diese Eine Region sich beschränke, indeß ist eine Mehrheit wenigstens für alle altbekannten Regionen bis zum Uranus nicht wahrscheinlich. Endlich könnte man weitere Planeten, oder vielleicht wenigstens noch Einen, diesseits des Merkur vermuthen; wenigstens darf es nicht als entschiedene Thatsache betrachtet werden, daß Merkur der erste Planet von der Sonne an sei. Daß ein solcher sonnennäherer Planet bis jetzt der Wahrnehmung sich entzogen hätte, dürfte nach dem, was oben über Merkur gesagt worden ist, nicht befremden, ja man möchte sogar mit Grund als die einzige Gelegenheit dazu seine Vorübergänge vor der Sonnenscheibe betrachten, und dann ist blos an die Sonnenflecken zu erinnern, um einzusehen, daß sehr wohl ein solcher Planet vorhanden sein könnte, ohne daß man ihn bis jetzt gesehen hätte. Daß er ferner noch nicht durch seinen störenden Einfluß auf Merkur nach Art Neptuns sich bemerklich gemacht hätte, dürfte dem nicht auffallen, welcher weiß, daß der Lauf des Merkur unter allen älteren Planeten zur Zeit noch am wenigsten genau bekannt ist, eben wegen der Schwierigkeit seiner Beobachtung. Einen solchen Hergang dürfte man vielmehr erst von der Zukunft erwarten, und wenn dann etwa die Gravitationsrechnung für das Vorhandensein eines solchen Körpers entschiede, so würden ihn seine Vorübergänge auch in's Fernrohr bringen, welche man dann vorausberechnen würde, wie den Ort des nun gesehenen Neptuns.

Aber kehren wir von dieser Aussicht auf künftige neue Glieder der Planetenreihe zu denen zurück, welche wir kennen. Der Hauptunterschied, den diese darbieten, ist der bereits angedeutete Gegensatz, in welchem die (so zu sagen) Vollplaneten, deren jeder ein besonderes Unterreich, oder wenigstens eine eigene Provinz im Reiche der Sonne bildet, den Halbplaneten gegenüberstehen, die nur Kreise oder Kantone einer einzigen Provinz vorstellen. Sie sind noch planetenhafte Körper und unterscheiden sich grundwesentlich von allen, auch den periodischen,

Kometen nach Aussehen sowohl als nach der Natur ihrer Bahnen, aber sie stehen auch nach ihrer Kleinheit wie nach den bedeutenden Abweichungen ihrer Bahnen von der Kreisgestalt und von der Grundebene des Systems (dem Sonnenäquator) an der Gränze der Planetennatur. Das letztere hängt ohne Zweifel mit der Kleinheit der Massen zusammen, denn auch die kleinsten unter den übrigen, Mars und noch mehr Merkur, zeigen in den genannten Elementen (namentlich Merkur in der Excentricität, die sogar stärker ist als bei Vesta und Ceres) weit größere Abweichungen als die übrigen Planeten. Man wird nicht erwarten, über die Oberflächen, Axendrehungen, Dichten dieser kleinen Körper etwas zu erfahren, kaum daß man über ihre Größe etwas Genaueres angeben kann, da ihre scheinbaren Durchmesser der sicheren Messung spotten. Eben daraus folgt aber wenigstens so viel, daß sie sehr klein sind, daß z. B. der Durchmesser der Pallas höchstens 145 Meilen betragen kann, dieser Planet also zum mindesten 34mal kleiner ist als der Mond; der Durchmesser der Juno scheint etwas größer zu sein, doch ist die Angabe von 300 Meilen gewiß noch zu groß; bei Ceres und Vesta ist noch kein Versuch einer Schätzung gemacht worden, übrigens ist letzterer der hellste unter den Vieren, weßhalb man schon an eigenes Licht bei ihr gedacht hat. Kurz es sind Planeten, beträchtlich kleiner als der Erdmond und als die anderen bekannten Monde, und die Astronomie hat genug zu thun, ihre verwickelten Bewegungen näher kennen zu lernen; von dem überaus merkwürdigen Umstand selbst aber, daß hier in Einer Planetenregion eine Mehrheit auffallend kleiner planetenhafter Körperchen vorhanden ist, kann erst bei Betrachtung der allgemeinen Verhältnisse des Sonnensystems weiter die Rede sein.

Von den übrigen Planeten, die wir diesen oder den Halbplaneten (Planetoiden) gegenüber Vollplaneten zu nennen uns erlaubt haben, ist auch der kleinste, Merkur, nach Inhalt und Masse beträchtlich größer als der Mond, im Vergleich mit der Erde aber nach Inhalt 16mal, nach Masse (die freilich noch keineswegs genau bekannt ist) etwa 11mal kleiner, während der größte, der Planetenriese Jupiter die Erde nach In-

halt 1414mal, nach Masse über 333mal, ja alle anderen bekannten Planeten zusammen über zweimal übertrifft. Die Vertheilung der Massen scheint durchaus kein Gesetz zu befolgen, denn die Masse nimmt vom Merkur bis zur Erde zu, worauf wieder eine kleinere Masse im Mars folgt; alsdann nimmt sie (jenseits der ganz kleinen) vom Jupiter bis zum Uranus ab, und Neptun ist wieder eher größer als kleiner. Ueberhaupt hängt nur Ein Element mit der Entfernung durch ein bestimmtes Gesetz zusammen, nämlich die Umlaufszeit durch Keplers drittes Gesetz. Die mittleren Abstände belaufen sich von weniger als 1/2 bis auf mehr als 30 Sonnenweiten, die Umlaufszeiten von 1/4 bis zu etwa 170 Jahren.

Wohl aber zerfallen die Planeten, von welchen wir jetzt sprechen, nach der Entfernung von der Sonne in zwei wesentlich verschiedene Reihen, welche durch die Mittelregion der Halbplaneten von einander getrennt sind, in die Reihe der inneren kleinen und sonnennahen Vollplaneten und in die Reihe der äußeren großen und sonnenfernen Vollplaneten. Es sind zwei Hauptverschiedenheiten, die eine betrifft Masse und Dichte, die andere Axendrehung und Gestalt, um von dem Unterschied in der Bestrahlung durch die Sonne nichts zu erwähnen, die sich schon von Region zu Region so sehr geltend macht.

Während nämlich die inneren Planeten von der Sonne an Masse etliche Hunderttausendemal (Erde und Venus) bis ungefähr ebenso viele Millionenmal (Mars und Merkur) überwogen werden: überwiegt die Sonne die äußeren nur über Tausend- oder etliche Tausendmal (Jupiter und Saturn) bis Zehntausendmal und darüber (Neptun und Uranus). Der kleinste unter den äußeren übertrifft den größten unter den inneren (Uranus die Erde) zum mindesten zwanzigmal, und hiezu kommt noch die Menge der Trabanten in der äußeren Reihe. Denn während in der inneren nur ein einziger Mond vorhanden ist, hat Jupiter deren vier, Saturn sieben nebst einem Ringsystem, Uranus wenigstens zwei (oder drei, angeblich sogar sechs) und auch bei Neptun will man bereits zwei Monde nebst einem Ring wahrgenommen haben.

Aus allem dem erhellt die ungleich größere Massenansammlung in der äußeren Reihe. Allein die äußeren Planeten übertreffen die inneren noch vielmehr der Größe als der Masse nach, so daß ihre Dichte auffallend geringer ist, als die der inneren Planeten. Denn während bei diesen die mittlere Dichte von derjenigen der Erde nicht viel verschieden zu sein scheint (bei Merkur etwa anderthalbmal größer, bei Mars etwas kleiner als bei der Erde): sinkt die von Jupiter auf weniger als den vierten Theil der Erddichtigkeit herab, und noch geringer ist die der folgenden großen Planeten. Ueberhaupt scheint am ehesten in der Dichte ein Fortschritt mit der Entfernung obzuwalten, doch ohne bestimmtes Gesetz, vielmehr nur so, daß sie überhaupt abnimmt; indeß soll doch die Dichte des Uranus wieder ein wenig größer sein, als die von Saturn, welche dagegen die Hälfte von der Dichte Jupiters ist, und von den Kleinplaneten weiß man in dieser Beziehung gar Nichts. Man darf sich endlich nicht verhehlen, daß man die Massen mehrerer Planeten noch nicht genau genug kennt, zumal die der mondlosen Planeten, was man sich nach dem vierten Abschnitt leicht zurechtlegen wird. So schwankt man namentlich auch, ob Venus, welche jedenfalls nur um sehr wenig kleiner als die Erde im Inhalt ist, der Masse und somit auch der Dichte nach voran- oder zurücksteht, jedenfalls steht sie in diesen Hinsichten der Erde sehr nahe.

Der andere merkwürdige Gegensatz betrifft die Geschwindigkeit der Axendrehung. Freilich herrscht auch hier noch ziemliche Ungewißheit, ja bei Venus weichen die Angaben so weit von einander ab, daß die eine ebenso viele Tage (24 Tage 8 Stunden) für die Axendrehungszeit zählt, als die andere Stunden (23 Stunden 20 Minuten), indeß ist letztere verbürgter und wahrscheinlicher. Darf man sie annehmen, sowie die Angabe über die Axendrehungszeit des Merkur (zu 24 Sunden 5 Minuten, was auch noch ein unsicherer Gegenstand ist), so würde sich die Dauer der Axendrehung bei den vier inneren Planeten ziemlich gleich zu 24 Stunden, etwas darüber oder darunter, herausstellen (bei Mars ist die Zeit von 24½ Stunden Thatsache). Alsdann sticht aber die Länge der Zeiträume bei diesen

kleinen Planeten sehr ab gegen die ausnehmend kurzen Perioden der großen. Denn Jupiters ungeheure Kugel schwingt sich in weniger als 10 Stunden (9 Stunden 55½ Minuten) um ihre Axe, die Saturns in etwas mehr als 10 Stunden (10 Stunden 29 Minuten); bei Uranus und Neptun kann freilich keine Rede von dieser Kenntniß sein. Nehmen wir nun noch die langen Umlaufszeiten der äußeren Planeten (gemäß Keplers drittem Gesetz) hinzu, so steigert sich der Unterschied noch in dem Umstand, daß die Jahre dieser Planeten Myriaden ihrer Tage zählen.

Hiemit hängt ferner der Unterschied zusammen, daß die Gestalt, welche bei den inneren Planeten sehr nahe kugelförmig ist, bei den äußeren sehr bedeutend davon abweicht. Denn während bei der Erde der Unterschied zwischen dem Polar- und Aequatorial-Durchmesser einige Meilen beträgt, beläuft er sich bei Jupiter und Saturn auf anderthalbtausend Meilen und darüber. Aus der Größe der Abplattung folgt aber ferner, daß auch bei diesen Körpern die Dichte nach dem Mittelpunkt zu wachsen muß, wie bei der Erde, denn die Abplattung müßte schon bei gleichmäßiger Dichte viel beträchtlicher sein, als die wirkliche Abplattung, geschweige also, daß man an Hohlkugeln denken dürfte. Daraus mag man ermessen, wie gering die Dichtigkeit an der Oberfläche dieser Körper sein muß, wenn man auch nur das bei der Erde Statt findende Verhältniß der mittleren Dichte zu der oberflächlichen zu Grunde legt; denn dann ist sie bei Jupiter über viermal kleiner, also etwa halb so groß als die des Wassers, bei Saturn wieder zweimal kleiner, also etwa der des Korkholzes gleich; allein man darf eher noch stärkere Unterschiede zwischen Oberfläche und Kern annehmen als bei der Erde. Bei der Sonne ist nach dem obigen dieser Unterschied am bedeutendsten, da man an ihr keine Abplattung wahrgenommen hat, während dagegen ihre mittlere Dichte derjenigen von Jupiter am nächsten kommt (etwas weniges größer). Wie bei der Sonne, so sticht auch bei den äußeren Planeten gegen die geringe Dichte an der Oberfläche die bedeutende Schwerkraft merkwürdig ab, im Vergleich mit den

dießfallsigen Verhältnissen der inneren Planeten, namentlich der Erde. Die Schwerkraft ist keineswegs nach Verhältniß der Masse größer, sondern es kommt zugleich die Größe des Durchmessers in Betracht, wie wir schon bei der Sonne gesehen haben; überdieß veranlaßt die große Abplattung bedeutende Unterschiede. Ja bei Saturn ist die Polarschwere fast anderthalbmal so groß als die irdische, die Aequatorialschwere dagegen kleiner, nur $^3/_4$ von dieser, während sie auf dem Jupiter überall größer, an seinen Polen fast dreimal, an seinem Aequator etwas über zweimal größer ist als die Erdschwere. Venus muß hierin der Erde so ziemlich gleich stehen, während dagegen die beiden kleineren Planeten nur etwa halb so große Oberflächenschwere besitzen, als die Erde. Man sieht übrigens, daß in dieser Hinsicht minder auffallende Unterschiede zwischen den Planeten Statt finden, dergestalt daß die größte Oberflächenschwere an den Jupiterspolen die kleinste auf dem Mars kaum sechsmal übertrifft.

Zu den wichtigsten Naturverhältnissen der Planeten gehört auch die Stellung der Drehaxen gegen die Bahnen, die Schiefe der Ekliptik, wenn wir diesen Ausdruck von der Erde auf sie übertragen. Wir können hierüber freilich fast noch weniger Sicheres sagen, als von den Zeiten der Axendrehungen; von Merkur und Venus wissen wir in dieser Beziehung nichts, obwohl es nicht an Astronomen fehlt, welche für Venus eine Schiefe von 72 Grad in Anspruch nehmen. Für Uranus wollte man einen mittelbaren Schluß machen von der nahezu rechtwinkligen Stellung der Bahnen seiner Monde gegen die seinige; da aber dieser Schluß voraussetzt, daß die Mondbahnen von dem Aequator des Hauptplaneten nicht beträchtlich abweichen, was bei Jupiter und Saturn wirklich sehr nahe zutrifft, allein weniger bei der Erde, so dürfte es noch sehr in Frage gestellt sein, ob die nahezu senkrechte Stellung seines Aequators gegen seine Bahn (eine Schiefe von 90 Grad, jenes Aeußersten, das wir im dritten Abschnitt betrachtet haben) wirklich Statt findet. Dagegen nähert sich das Verhältniß bei Jupiter dem anderen Aeußersten, indem die Schiefe bloß 3 Grad beträgt, während sie bei Saturn (mit etwa 30 Grad) und bei Mars (mit 28 Grad) der Erde

am nächsten kommt. Da aber Saturn in anderer Hinsicht so sehr von allen inneren Planeten abweicht, so können wir bloß von dem Nachbarplaneten Mars behaupten, daß er ähnliche Jahrszeitenverhältnisse besitzen müsse, wie die Erde; bei den übrigen wissen wir entweder nichts davon, oder soviel, daß sie wesentlich anders sind, ja daß Annäherungen an die Aeußersten vorkommen.

Es ist leicht abzusehen, warum über die Axendrehung der Planeten bis jetzt so wenig bekannt geworden ist. Wir können bloß aus der Bewegung von Flecken, d. h. überhaupt von ungleich leuchtenden Stellen der Oberfläche, darauf schließen; wo solche Flecken selten sind, wie bei Venus, oder sich schwer beobachten lassen, wie bei Merkur, Saturn, da müssen die aus ihrer Beobachtung gezogenen Ergebnisse unsicher sein. Nur sehr wenig hat man vollends über die Beschaffenheit der Oberfläche theils aus diesen Flecken, die fast ebenso viele Räthsel sind, theils aus anderen Umständen der Beleuchtung schließen können, und man muß leider beifügen, daß die Astronomen in ihren Schlüssen schon manchmal zu weit gegangen sind. Daß vor Allem die Planeten sowie ihre Monde dunkle Weltkörper nach Art der Erde und ihres Monds sind, welche uns nur im zurückgeworfenen Sonnenlicht sichtbar sind, haben wir schon an einer anderen Stelle im fünften Abschnitt besprochen, und in der That haben wir bei den meisten ganz bestimmte Anhaltspunkte, ihnen ein wirkliches eigenes Licht abzusprechen. Dadurch bleibt aber nicht ausgeschlossen, an eigene Lichtentwicklungen zu denken, nach Art derjenigen, welche auch die Erde im Polarlicht zeigt. Namentlich zeigt Venus, wenn sie blos in einer Sichel erleuchtet ist, auf dem unbeleuchteten Theil der Scheibe manchmal, aber nicht jedesmal, ein aschgraues Licht, wie der Mond, bei welchem es vom Erdschein herrührt; bei Venus kann es aber von keiner Mondbeleuchtung herrühren, und da es überdieß nicht jedesmal bemerkt wird, so bleibt nichts übrig, als anzunehmen, daß dieser Planet zeitweise eigenes Licht von sich gebe, welches etwa die Stärke des doppelt zurückgeworfenen Sonnenlichts hat. Da nun aber die erleuchtende und erwärmende

Kraft der Sonnenstrahlen mit der zunehmenden Entfernung in quadratischem Verhältniß abnimmt, in demselben Verhältniß, als die Sonne in der größeren Entfernung kleiner gesehen wird, so erscheinen die Planeten in diesem Grundverhältniß sehr ungleich bedacht, und es liegt hierin (nebst der außerordentlichen Stoffverschiedenheit) die bedeutsamste Verschiedenheit der äußeren Planeten von der Erde. Wir können uns nun zwar, namentlich hinsichtlich der Wärme, wohl Ersatze denken, beträchtliche eigene Wärme oder sehr geringes Fassungsvermögen ihres Stoffs für die Wärme (so zu sagen leichte Heizbarkeit), insbesondere dichtere Atmosphären, da sich ohnedieß bei größeren Körpern entsprechende größere Gashüllen erwarten lassen. Aber auch auf der anderen Seite gibt die 4½- bis gegen 11mal, im Mittel gegen 7mal größere Kraft der Sonnenstrahlen auf dem Merkur allerhand zu bedenken und könnte zu entgegengesetzten Auskünften auffordern. Allein wir können durchaus nichts sicheres über alle diese Dinge behaupten und müssen zufrieden sein, daß wir überhaupt das Vorhandensein von Planetenatmosphären behaupten können.

In der That scheint diese Grundbedingung des Erdenhaften bei den meisten Planeten vorhanden zu sein, und es sollte uns überdieß nicht Wunder nehmen, wenn die Größe der Gashüllen einigermaßen im Verhältniß der Körpermassen selbst stünde. Wenn man z. B. Venus halb erleuchtet sieht und keine scharfe Gränze zwischen der Tagseite und der Nachtseite gewahr wird, so deutet dieß auf atmosphärische Lichtergänge, wie unsere Dämmerungen. Gleicherweise wenn man veränderliche und zeitweise Flecken wahrnimmt, wie z. B. vornehmlich bei Mars, aber auch bei Jupiter, so liegt der Schluß auf Wolkenmassen nahe. Besonders merkwürdig sind ferner die Polarflecken des Mars; dieser Planet zeigt nämlich an seinen Polen helle Flecken, welche größer sind und heller glänzen, wenn sie aus der Polarnacht hervortreten, dagegen abnehmen und unscheinbar werden, je länger sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt waren. Da die Veränderungen dieser Polarflecken den Marsjahreszeiten so auffallend entsprechen und überdieß durch ihre Farbe an unsere

Schneefelder erinnern, so haben wir wohl an nichts anderes dabei zu denken und sehen hierin die bedeutendste Aehnlichkeit mit irdischen Gegenständen, die ein anderer Planet uns darbietet. Ganz anders verhält es sich mit den nicht minder merkwürdigen Aequatorialstreifen des Jupiters, graue Streifen auf dem hellgelben Grund der Jupitersscheibe, welche seinem Aequator parallel laufen. Es sind vor allem zwei Hauptstreifen, welche den Jupitersäquator auf beiden Seiten begleiten, nicht überall gleich breit und gleich scharf begränzt, auch sich keineswegs gleichbleibend. Man sieht zuweilen noch mehrere den Jupiterspolen zu, welche aber stets weit schmaler und matter sind, und das diese Planetenscheibe auszeichnende Hellgelb geht endlich an den Polen in ein mattes Bleigrau über. Bedenkt man nun, welch mächtige Gebilde diese Gürtel sein müssen, da ganz Europa in der Jupitersentfernung für das kräftigste Fernrohr ein Punkt ist, so müssen wir gestehen, daß jeder irdische Anhaltspunkt fehlt, um „diesen Jupitersstreifen eine Bedeutung abzugewinnen". Da übrigens auch Saturn ähnliche, obwohl schwer zu erkennende Streifen zeigt, so möchte man, wenigstens unbestimmter Weise, an gewaltige atmosphärische Hergänge denken, welche mit der raschen Axendrehung in Verbindung stehen.

So sehr wir nun berechtigt sind dem Satz, daß die Erde ein Planet ist, den anderen beizugeben, daß die Planeten Erden sind, eben so sehr mag dagegen aus dem, was über die einzelnen Planeten hiemit erörtert worden ist, hervorgehen, mit welchem Spielraum diese Aehnlichkeit oder Gleichartigkeit der Natur aufzufassen ist, welch große Verschiedenheiten nach allen Hinsichten darin mitbegriffen sind. So angenehm wir auf der einen Seite durch wirkliche Aehnlichkeiten mit der Erde berührt werden, so willkommen müssen uns auch die noch auffallenderen Verschiedenheiten sein, die Mannigfaltigkeit, welche die Natur auch unter im Ganzen gleichartigen Körpern entwickelt und dadurch jeden zu einem wahrhaftigen Einzelwesen stempelt. Die erdähnlichsten Körper sind offenbar Venus und Mars. Bei jener nämlich ist es die Gleichheit an Größe, Masse, Dichte, Oberflächenschwere; vielleicht darf man noch bei-

fügen das Vorhandensein von Gebirgen, denn man will neben der erleuchteten Venussichel helle Punkte im dunkeln Theil gesehen haben, welche nichts anderes sein können als Berge. Wenn man aber ihre Höhe zu 5 bis 6 Meilen schätzen zu können glaubt und an der wundervollen Aussicht von solcher Höhe sich zu ergötzen herbeiließ, so wollen wir uns zurückziehen und erst den irdischen Dawalaghiri zu ersteigen suchen! Bei Mars dagegen ist es, trotz der 8mal kleineren Masse und halb so großen Oberflächenschwere, die erwiesene nahe Uebereinstimmung des Tag- und Nachtwechsels, so wie die Aehnlichkeit des Jahreszeitenwechsels, das Vorhandensein von Luft und Wolken, Wasser und Schnee. Die Sonnenstrahlen endlich sind zwar kräftiger auf Venus, minder kräftig auf dem Mars, dergestalt daß dieser die Sonne weniger als halb so groß, jene mehr als doppelt so groß sieht; allein was ist das schon gegen Jupiter, dem sie 25mal kleiner erscheint und eben so vielmal schwächer ist, oder auch gegen Merkur, der eine 7mal größere Sonne hat als wir.

Wir enthalten uns, weiter auf die Einzelbeschreibung der Planeten einzugehen und etwa die Himmelsaussicht und den Kalender jedes einzelnen zu entwerfen. Wir haben noch einiges von den Trabanten zu sagen, wobei wir uns aber kurz fassen können, da unser Mond im nächsten Abschnitt ausführlicher betrachtet werden soll. Ihre Anzahl beläuft sich auf 20, wenn man die vier noch nicht gewissen Uranusmonde und die zwei noch so neuen Neptunmonde mitzählt. Die Monde sind keineswegs, wie wir bereits aus Anlaß der Kleinplaneten gesehen haben, gegenüber den Planeten die kleineren Körper; der dritte Jupitersmond ist nicht viel kleiner als Merkur, und der sechste Saturnsmond soll selbst größer sein, fast dem Mars vergleichbar. Freilich gehört diese Angabe zu den minder sicheren, und nur die Jupitersmonde sind uns nach Rauminhalt, ja selbst nach Masse und Dichte näher bekannt. Von diesen ist nur einer, der zweite, etwas kleiner als unser Mond, dabei dichter als Jupiter selbst und als alle übrigen Monde desselben. Jeder Trabant aber wird von seinem Hauptplaneten in sehr großem Ver-

hältniß nach Größe und Masse übertroffen, und das kleinste unter den hier vorkommenden Verhältnissen ist das schon im vierten Abschnitt erwähnte Verhältniß der Erde zu ihrem Mond, wornach derselbe von ihr in Masse 88mal übertroffen wird. Nach Gestalt und Lage der Bahnen, so wie nach den Entfernungsverhältnissen vom Hauptplaneten sind die Mondenwelten im Allgemeinen Abbilder des Sonnensystems, vor allem bilden die Regionen der einzelnen Monde, wo deren mehrere vorhanden sind, gesonderte Provinzen, wie die Planetenregionen; doch sind auch eigenthümliche Verschiedenheiten dieser Sondersysteme hervorzuheben, wir behalten aber die Vergleichung derselben mit dem Hauptsystem einer späteren Stelle vor.

Wenn wir alle Naturverhältnisse, welche wir an unserem Mond kennen, auf die anderen Monde in jenen äußeren Gebieten übertragen dürften, so müßte das allgemeine Urtheil über die Mondsnatur dahin lauten, daß auch sie die Bedingungen der Lebensentwicklung, welche wir an der Erde kennen, nicht, wenn auch nicht in dem Grade darbieten, als die Sonnen und die Kometen, Bedingungen, welche dagegen allem nach bei unseren Mitplaneten (mit Ausnahme etwa der kleinen) erfüllt zu sein scheinen. Indeß können wir blos von Einer Eigenschaft mit einiger Wahrscheinlichkeit behaupten, daß sie eine allgemeine Eigenschaft der Monde sein dürfte, der Umstand nämlich, daß die Zeiten der Axendrehung und die des Umlaufs um den Planeten einander gleich sind. Dieß scheint nämlich nach den Forschungen von Herschel und Mädler auch bei sämmtlichen Jupiterstrabanten der Fall zu sein, sowie nach Bessel beim äußersten Saturnsmond so gut als gewiß. Da nun überdieß theoretische Gründe dafür sprechen, die man zur Erklärung dieser Erscheinung beim Mond ermittelt hat, so ist man geneigt, den erwähnten Umstand für eine bezeichnende Eigenschaft der Mondsnatur überhaupt zu halten. Wir werden übrigens auf Gründe und Folgen dieses Umstands erst im nächsten Abstand weiter eingehen. Indessen ist nicht die Umlaufszeit um den Hauptplaneten, sondern die mit diesem um die Sonne

die Hauptperiode oder das mit dem Planeten gemeinschaftliche Jahr des Trabanten.

Die Sondersysteme unseres Sonnensystems bieten aber noch eine ebenso merkwürdige Eigenthümlichkeit dar, wie es im Hauptsystem das Vorhandenseyn einer zahlreichen Planetengruppe in einer und derselben Region ist. Es ist der Ring oder das Ringsystem des Saturns, welches übrigens nach den neuesten Berichten nicht mehr einzig im Sonnensystem sein, vielmehr am Neptun wiederkehren soll. Saturn ist von mehreren concentrischen sehr breiten und dabei sehr dünnen Ringen umgeben, frei in der Ebene des Saturnäquators schwebend, welche Ebene gegen die der Saturnbahn und Erdbahn eine beträchtliche Neigung hat (27 bis 30 Grad). Die Mehrheit der Ringe war vor Herschel unbekannt, sowie der Ring erst um die Mitte des 17. Jahrhunderts von Huygens erkannt worden war; Herschel hat auch, übrigens sehr geringe Abweichungen wahrgenommen, vermöge deren die verschiedenen, ungleich breiten und durch leere Zwischenräume getrennten Ringe nicht genau in Einer Ebene liegen, sondern von einander und vom Saturnäquator etwas wegneigen, auch nicht mit der Saturnkugel genau concentrisch sind; ja selbst bergartige Erhöhungen oder Vorsprünge will Herschel an den Ringen bemerkt haben. Die beiden ersten Angaben sind in der That durch anderweitige Beobachtungen bestätigt und überdieß durch die mechanische Theorie, der Laplace die Erscheinung unterwarf, und aus welcher auch folgt, daß die Ringe im Umschwung um Saturn begriffen sein müssen, indem sie ohne einen solchen und ohne Ungleichheiten der erwähnten Art nicht im Gleichgewicht sich erhalten könnten, denn was sie freischwebend erhält, ist nichts anderes als die Schwungkraft. Wie groß dieselbe sein muß mag man daraus ermessen, daß die Dauer des Ringumschwungs mit derjenigen des Planeten selbst zusammenfällt und 10½ Stunden dauert. Der äußerste Durchmesser des Ringsystems beträgt aber 37600 Meilen oder 44 Erdhalbmesser, die Umlaufsgeschwindigkeit der äußersten Punkte ist also etwa 45mal größer als die eines Punkts im Erdgleicher. Der innerste Durchmesser

beträgt 25500 Meilen (also nur ungefähr 5500 Meilen mehr als Jupiters größter Durchmesser), die Breite sämmtlicher Ringe mit allen Zwischenräumen aber 6000, der Abstand vom Saturn 4600 Meilen; der Aequatorialdurchmesser des Planeten selbst aber mißt über 16300 (der Polardurchmesser fast 14700) Meilen. Daß der Ring uns stark elliptisch erscheint, rührt davon her, daß er einen Winkel von nicht mehr als 30 Grad mit der Ebene der Erdbahn macht; wäre der Winkel 90 Grad, so würden wir ihn zu Zeiten kreisförmig sehen, wäre er null, so würde er sich uns geradlinig entwerfen, was unter den wirklich stattfindenden Umständen nur zeitweise erfolgen kann. Er ist dann nur noch im stärksten Fernrohr sichtbar und ebenso verschwindet er, wenn es sich trifft, daß die Sonne nur die schmale äußere Kante des Rings (nicht aber seine breite Fläche) bescheint, und eben hieraus folgt auch die geringe Dicke, die wir dem Ring zuschreiben und vermöge der Schwungkraft begreiflich finden. Daß der Ring aus dunkelm, undurchsichtigem, festem (oder flüssigem?) Stoff besteht, folgt aus eben denselben Erscheinungen und den Schatten, welche er auf Saturn wirft; aus den Störungen aber, welche er auf den sechsten Mond ausübt, hat Bessel eine Masse des Rings gefolgert, die dem 118. Theil der Saturnsmasse gleich, also nicht viel geringer als die Erdmasse ist.

Von allen bisher betrachteten Körpern des Sonnensystems unterscheiden sich die Kometen gänzlich durch die Eigenthümlichkeit des Stoffs, aus dem sie sammt ihren oft so großen Schweifentwicklungen bestehen müssen; von Planeten und Monden aber auch durch ihre nicht an bestimmte Regionen gebundenen Bahnen, welche übrigens nach den durch die Gravitationslehre berichtigten Keplerschen Gesetzen vor sich gehen, wovon bereits im dritten Abschnitt eine Vorstellung gegeben worden ist. Ihre Erscheinung gränzt auf der einen Seite ans Meteorartige, sie sind die großen, mehr oder minder regelmäßigen Meteore des Sonnensystems; auf der anderen aber nähern sie sich auch, wenigstens in einigen Exemplaren (deren Anzahl sich aber ohne Zweifel vermehren wird), eingebürgerten Weltkörpern. Es giebt nämlich einige wenige, welche regelmäßig wie-

vergekehrt und wiederholt beobachtet worden sind, welche also die Sonne in langgestreckten Ellipsen umkreisen und dabei verschiedene Planetenregionen durchkreuzen. Aber nur drei sind bis jetzt wirklich auf mehreren Umläufen beobachtet worden; einer, der Halley's Namen trägt, von langer Umlaufszeit, die mit 75 bis 77 Jahren der des Uranus (84 Jahre) am nächsten kommt, und zwei andere, nach Encke und Biela benannt, von viel kürzerer Umlaufszeit, jener mit 3½, dieser mit 6¾ Jahren, am meisten den Perioden der Kleinplaneten verwandt (denn Mars braucht 1 Monat weniger als 2 Jahre, Jupiter 12 Jahre). Dabei kommt der Halleysche Komet in der Sonnennähe bis diesseits der Venusbahn, während er in der Sonnenferne etwa in die Neptunregion gelangt; seine Umlaufszeit bleibt sich nicht gleich, wie die der Planeten, sondern hat, eben in Folge der Störungen, die er von den letzteren erleidet, einen Spielraum von etwa zwei Jahren, d. h. um so viel kann er verzögert oder beschleunigt werden, wenn er nahe an den großen jenseitigen Planeten vorbeikommt. Der Enckesche Komet kommt der Sonne näher als Merkur, und gelangt weit über die Bahnen der Kleinplaneten hinaus; der Bielasche hat seine Sonnenferne jenseits der Jupitersbahn, seine Sonnennähe zwischen Erd- und Venusbahn, ziemlich nahe der ersteren, so daß Erde und er auf eine Mondweite sich nahe kommen können.

Außer diesen entschiedenen periodischen Kometen, mit denen man jetzt 19 Bahnen um die Sonne zuverläßig kennt, hat bis jetzt noch eine ziemliche Anzahl eine mehr oder minder genaue Bahnberechnung gestattet, so daß die Anzahl der berechneten Kometen auf etwa anderthalb Hundert sich beläuft. Astronomisch beobachtet sind aber mehrere Hunderte, die meisten darunter blos telescopisch; denn seit man den Himmel mit den Kometensuchern durchmustert, vergeht durchschnittlich kein Jahr, wo nicht ein oder zwei Kometen wahrgenommen werden. Wie viele mögen aber gleichwohl der Wahrnehmung entgangen sein, zumal in früheren Zeiten! Man schätzt daher die Anzahl der Kometen, welche in unsere Gegenden kommen und so der Wahrnehmung überhaupt noch zugänglich werden können, wohl

auf mehrere Tausende, und man wird wenigstens in die Zehntausende gehen dürfen, wenn man auf diejenigen Rücksicht nimmt, welche uns unsichtbar bleiben müssen, indem sie nicht über die Region der Kleinplaneten herabgekommen sind; denn es ist kein Grund vorhanden zu der Annahme, daß nicht auch die entfernteren Regionen die Sonnennähen vieler Kometen enthalten, oder daß die Mehrzahl bis in die inneren Regionen gelangen sollte; auch dürfen wir ohne Zweifel die Gränzen des Sonnensystems noch weit über Neptun hinausrücken.

Nach den Erörterungen über die Centralbewegung im dritten Abschnitt ist die theoretische Möglichkeit gegeben, daß es auch nicht wiederkehrende Kometen gebe, welche in hyperbolischer Bahn sozusagen ein einzigesmal um die Sonne schwingen würden. Man hat auch gefragt, was aus solchen Körpern, die sich immer weiter und weiter von der Sonne entfernen würden, zuletzt werden möchte, und vermuthet, daß sie etwa von einem Sonnensystem ins andere wandern könnten, indem sie, in den Anziehungsbereich einer Nachbarsonne gekommen, zu dieser sich sofort herabstürzen möchten, wie zuvor in die Nähe der unseren. Lassen wir diese Ueberläufer in der Idee, denn die bis jetzt ausgeführten Bahnberechnungen haben mit Sicherheit keine hyperbolische Kometenbahn geliefert, wohl aber eine beträchtliche Anzahl langgestreckter elliptischer Bahnen mit der größten Entschiedenheit; überdieß hat bei einigen die Vergleichung mit früheren Kometenerscheinungen Einerleiheit wahrscheinlich gemacht, so bei dem großen Kometen von 1843, der hiernach eine Umlaufszeit von 175 Jahren hätte und einer von denen ist, welche der Sonne außerordentlich nahe gekommen sind. Bei mehreren laufen die Umlaufszeiten in die Jahrtausende, namentlich bei einigen der durch Glanz und Größe berühmtesten Kometen, wie die von 1680 und 1811. Bei einem, der wohl nächst den drei wirklich wiederholt gesehenen Kometen der wahrscheinlichste periodische Komet ist und den Namen von Olbers trägt, welcher ihn 1815 entdeckte und berechnete, ist die Umlaufszeit von 72 Jahren (ähnlich der Halleyschen) so verbürgt, daß er im Jahr 1887 schwerlich vergebens auf sich warten lassen wird,

um in das Register der wirklich geschlossenen Bahnen eingetragen zu werden. Aber auch noch einer von kurzer Umlaufszeit ($7^3/_4$ Jahr) ist neuerlich von Faye zu Paris entdeckt (1843) und berechnet worden, dessen Bahn weniger elliptisch als alle anderen und zwischen Mars und Saturn enthalten wäre, was sich 1851 entscheiden wird.

Für den Elfer-Kometen hat man eine Umlaufzeit von mehr als 3060 Jahren herausgebracht, welche aber durch die Störungen um 177 Jahre verkürzt werden würde, nämlich für die nächste Wiederkehr, die somit ins Jahr 4700 fiele (wobei 50 Jahre mehr oder weniger in Anschlag zu bringen sind). In seiner Sonnennähe stand er der Erdbahn nahe, etwas jenseits derselben; in seiner Sonnenferne ist er 420 Sonnenweiten entfernt, 14mal weiter als Neptun. Die ungeheure Ausdehnung dieser Bahn wird aber noch übertroffen von dem Kometen von 1680, dem merkwürdigsten unter allen (außer den drei periodischen). Dieser ist damals der Sonne weit näher gekommen als Merkur, ja so nahe, daß keine Planetenentfernung mit diesem Abstand in Vergleich kommen kann, denn er betrug nur 128000 Meilen, d. h. vom Sonnenmittelpunkt, also 32000 Meilen von ihrer Oberfläche, und der Komet legte 53 Meilen in der Sekunde zurück. Derselbe Komet entfernt sich aber von der Sonne auf 850 Sonnenweiten, oder 28mal weiter als Neptun, in welchem Abstand er etwa 10 Fuß in einer Sekunde zurücklegt, und braucht zu seinem Umlauf $8^1/_2$ Jahrtausende. In der Hälfte dieses Zeitraums würde also dieser Komet das Sonnensystem von den Räumen der Sonnenatmosphäre an bis in die (ohne Zweifel) äußersten Regionen desselben ermessen, sämmtliche Planetenbahnen der Reihe nach kreuzend.

Die Kometenbahnen unterscheiden sich nicht blos durch die maßlosen Excentricitäten von den Planetenbahnen, sondern auch durch ihre Lage. Während nämlich, wie wir in diesem und schon im dritten Abschnitt bemerkt haben, die sämmtlichen Planetenbahnen in die Thierkreiszone eingeschlossen sind, die sich etliche und 30 Grad nach beiden Seiten der Ekliptik erstreckt, zeigen die Kometenbahnen alle möglichen Neigungen zur

Erdbahn, namentlich viele auch sehr beträchtliche bis zu 90 Grad, und bewegen sich überdieß häufig in dem der Planetenbewegung entgegengesetzten Sinne Ost-West, oder wie man zu sagen pflegt, **rückläufig** (so der von 1811 mit eine Neigung von 73 Grad gegen die Erdbahn). Dieser Umstand ist auch in der Hinsicht bemerkenswerth, daß dadurch die **Gefahr des Zusammentreffens** mit der Erde oder einem anderen der größeren Planeten (deren Bahnen sich ja überhaupt sehr wenig von der Erdbahn wegneigen) bedeutend verringert wird, eine Gefahr, deren Vorhandensein man sich nicht verbergen darf. Nur ein **wirklicher Zusammenstoß** mit einem Kometen scheint wirklich gefährlich zu sein, indem er, wo nicht Zertrümmerung, doch Verrückung der Axe, Ueberfluthen der Meere, Begrabung alles dessen, was an der Stoßfläche sich befindet, zur Folge haben müßte. Bedeutendes Nahekommen geht spurlos an der Wucht einer Planeten- oder Mondmasse vorüber, hat aber um so bedeutendere Folgen für den haltlosen Körper des Kometen.

Wir haben hiefür ein höchst merkwürdiges Beispiel an dem in vielen Beziehungen lehrreichen **Kometen von 1770**, welcher zuerst der Erde auf 360000 Meilen nahe gekommen und später durch das Jupitersystem hindurchgegangen war, ohne merkliche Störungen auszuüben. Um so bedeutender war der Einfluß des Planetenriesen auf ihn, und es geht daraus hervor, wie eine bedeutende, wenn auch vorübergehende Annäherung eines Kometen an einen großen Planeten die Bahn des ersteren gänzlich umgestalten kann. Nach den Beobachtungen von 1770 zeigte er sich als ein Komet von elliptischer Bahn mit kurzer Umlaufszeit, so daß er 1776 und 1781 wiederkehren sollte, denn seine mittlere Entfernung war kleiner als die der Kleinplaneten (wenig über drei Sonnenweiten), und die Umlaufszeit betrug etwas über 5½ Jahre. Allein den Kometen hat man nicht wieder gesehen. Die Analysis hat aber gleichwohl die Spuren seines Irrgangs verfolgt und nachgewiesen, daß er in der That im Jahr 1776 zur Sonne zurückgekehrt, aber wegen des ganz entgegengesetzten Standes der Erde unsichtbar geblieben war, indem er für die Erde, bei einer Entfernung von zwei Sonnenweiten, im Zusam-

menschein mit der Sonne stand. Die Rechnung hat aber ferner gezeigt, daß er im Jahr 1779 dem Jupiter näher kam als dessen vierter Trabant, wobei er von diesem Planeten 24mal stärker als von der Sonne angezogen wurde, dergestalt daß er eine völlige Bahnveränderung erlitt, vermöge welcher er sofort (d. h. bis auf eine weitere solche Störung) seine Sonnennähe in der Ceresregion hat und deßhalb von der Erde aus nicht mehr gesehen werden konnte. Die Geschichte dieses Kometen ist somit in der gedoppelten Beziehung merkwürdig, einmal, weil sie zeigt, in welchem Grad die Bahnelemente der Kometen durch die Planeten-Störungen verändert werden können, alsdann, weil sie eine schlagende Thatsache für die Masselosigkeit dieser Weltkörper ist. Dieß führt uns nunmehr auf die Betrachtung ihres physischen Wesens.

Da die Kometen, wie aus diesen und anderen Beispielen hervorgeht, gegenüber den Planeten verschwindend kleine Massen, und doch (auch noch abgesehen von der Schweifentwicklung) eine beträchtliche Größe haben, so muß ihre Dichte äußerst gering sein, dergestalt daß man zunächst nur an Dunst- oder Nebelmassen denken kann, eine Vorstellung, welche sich uns aber noch etwas berichtigen wird. Dieß hat auch auf die Vermuthung geführt, daß der Widerstand des Weltäthers, welcher bei den derben Planetenmassen als völlig unmerklich sich erwiesen hat, bei den losen und dabei umfangreichen Nebelmassen der Kometen merklich werden könnte. Und in der That will man diese Wirkung bereits bei dem so häufig wiederkehrenden Encke'schen Kometen wahrgenommen haben, wie schon im fünften Abschnitt erwähnt wurde. Was für eine Folge aber der Aetherwiderstand auf die Umlaufsbewegung eines Weltkörpers haben muß, wird nach der im dritten Abschnitt erörterten Theorie der Centralbewegung keine Schwierigkeit haben. Der Widerstand vermindert zunächst die Geschwindigkeit, der Komet wird sich mithin nicht so weit von der Sonne entfernen, als ohne den Widerstand erfolgt wäre; hievon aber ist die Folge, daß die große Axe der Bahn und mithin auch die Umlaufszeit kleiner wird; der Widerstand wirkt also hier zuletzt beschleunigend (d. h. Umlauf ab-

kürzend). Dieß ist am Encke'schen Kometen wahrgenommen worden, und er müßte so der Sonne, wenn auch sehr langsam, spiralförmig sich nähern und zuletzt in sie stürzen. Diese Erklärung hat man jetzt ziemlich allgemein angenommen; indeß ist auch ein anderer Erklärungsversuch der Thatsache aufgestellt worden, indem man darauf aufmerksam machte, daß die Ausströmungen, welche von dem Kometenkörper ausgehen und wovon sogleich mehr die Rede sein wird, einen rückwirkenden Druck auf den Körper ausüben, der (in dem so eben entwickelten Sinn) verzögernd oder beschleunigend wirken würde, je nachdem er im Sinn der Bewegung des Kometen oder im entgegengesetzten erfolgte. Zur Entscheidung fehlt es noch an zahlreicheren Thatsachen; am Biela'schen Kometen hat man, wie es scheint, bis jetzt nichts Aehnliches wahrgenommen; der Halley'sche endlich ist bei seiner letzten Wiederkehr im Jahr 1835 zwar 4 Tage zu spät in der Sonnennähe eingetroffen, allein die Rechnung hatte auch sonstige störende Einflüsse, z. B. den von Neptun, noch nicht berücksichtigen können.

Der schwierigste Punkt der Kometenfrage betrifft aber das Wesen des Kometenstoffs und die Ausströmungen, zumal die Schweifentwicklung. Hergebrachter Weise unterscheidet man Kopf (Kern) und Schweif der Kometen, und unter den Kometen selbst unterscheidet man schweiflose, bei denen eine bloße Nebelhülle vorhanden ist, und geschweifte, wo von der Hülle aus ein Lichtschweif mehr oder minder weit sich erstreckt. Neuerdings ist man aber zu der Einsicht gelangt, daß alle diese Unterscheidungen nur beziehungsweisen Werth haben. Von einem eigentlichen planetenartigen Kern, welcher einen festen undurchsichtigen Körper vorstellen könnte, kann keine Rede sein; es ist vielmehr nur eine nebelfleckartige Erscheinung mit bestimmten Umrissen nach Außen und meistens mit beträchtlicher Zunahme des Glanzes nach Innen (nicht gerade nach der Mitte). Während in größerer Entfernung von der Sonne bloßer Nebel wahrgenommen wird, nimmt die kernartige Verdichtung des Nebels mit der Annäherung zur Sonne zu. Deßgleichen hängt von der Annäherung zur Sonne die der Sonne zugekehrte

fächerartige Ausströmung, sowie die eigentliche von ihr abgekehrte Schweifentwicklung ab. Deßhalb erscheint ein und derselbe Komet der Reihe nach erst als matter Nebelfleck, dann als Nebelstern, dann als Schweifstern, indem er sich der Sonne nähert, und in umgekehrter Folge, wenn er sich wieder entfernt.

Jene mit dem Schweif nicht zu verwechselnde Ausströmung ist besonders von Bessel am Halley'schen Kometen studirt worden. Sie ging, der Sonne fächerartig zugekehrt, vom Kern aus, nicht vom Nebel, war etwa 20mal größer im Durchmesser als der Kern, und die Nebelhülle erstreckte sich weit über die Ausströmung hinaus. Sie blieb sich aber weder an Gestalt noch Größe gleich und machte periodische Bewegungen um die Richtung zur Sonne hin, pendelartige Schwingungen von 31 Stunden Dauer und von 60 Grad Weite. Diese Schwingungen des Kometenkerns, vergleichbar denen einer Magnetnadel, glaubt Bessel durch eine auf die Sonne sich beziehende Polarkraft deuten zu müssen, die sich in dem Maß entwickelt, als der Komet der Sonne sich nähert, deren Wesen uns zwar noch unbekannt ist, die aber die Form mit den irdischen Polarkräften (Electricität, Magnetismus) theilt, welche Form in einem Gegensatz von Anziehung und Abstoßung besteht. Auf eine Polarität führen nach Bessel auch, wie sich sogleich zeigen wird, die Erscheinungen der Schweifentwicklung bei diesem und anderen Kometen, so daß man sie wohl als eine allgemeine Eigenschaft der Kometennatur betrachten darf.

Die Kometenschweife sind Verlängerungen der Nebelhülle nach einer Seite hin, meistens nach der von der Sonne abgewandten, verschieden gestaltet, manchmal doppelt, ja mehrfach, dergestalt daß zwei Zweige entweder einen spitzen Winkel bilden oder auch den Kern in einem Bogen umgeben; höchst selten ist ein stumpfer Winkel zweier Schweifzweige, in welchem Fall einer der Sonne zugekehrt ist, wie bei dem Kometen von 1824. Die Länge der Schweife ist zuweilen sehr groß, bis zu 60 und 90 Grad dem Winkel nach, in Wirklichkeit also viele Millionen von Meilen betragend; auch mag die Erde schon manchmal mitten in solchen Schweifen gestanden habe, was man namentlich bei

den Kometen von 1819 und 1823 vermuthete. Man kann nicht wohl umhin, an einen inneren Zusammenhang mit der oben erwähnten, der Sonne zugekehrten Ausströmung zu denken, ja es scheint Licht über die räthselhaft mannigfaltigen Erscheinungen der Schweife sich zu verbreiten, wenn man noch den folgenden Hergang erwägt, den Bessel im Jahr 1835 an dem Halley'schen Kometen beobachtet hat. Die gedachte Ausströmung verbreitete sich nämlich zuletzt über einen immer größeren Theil der Kernfläche, und die Fächergestalt ging sofort in die eines zu beiden Seiten des Kerns herabwallenden Federbusches über (abwärts von der Sonne). Dieselbe merkwürdige Erscheinung war an dem Kometen von 1744 beobachtet und durch Zeichnungen überliefert worden, wo die sich von der Sonne in der beschriebenen Weise wegkrümmende Ausströmung zuletzt zwei Schenkel eines Schweifs bildete, welche in den schon vorhandenen Schweif übergingen und sich mit diesem abwärts von der Sonne erstreckten. In der That läßt sich nach diesen Wahrnehmungen nunmehr absehen, daß die mannigfaltigen Schweifgestaltungen aus Einem Prinzip hervorgehen, aus einer auf die Sonne sich beziehenden Polarkraft, welche ohne Zweifel einerlei mit derjenigen ist, welche die Schwingungen des Kerns hervorbringt, einer Polarkraft, wornach die den Kometen verlassenden Theilchen nach entgegengesetzten Richtungen von dem Kometenkern sich entfernen. In wiefern namentlich die Schweifgestalt des Elfer-Kometen nur so zu sagen als eine besondere Schattirung des oben geschilderten Hergangs zu betrachten ist, liegt ziemlich nahe; hier war nämlich der Schweif vom Kern ganz getrennt, indem dieser im Innern eines krummlinigen Streifens stand, welcher in zwei von der Sonne wegwärts gerichteten Schenkeln sich verlief. Deßgleichen begreift es sich, wie zwei solche einander umschließende Bögen sich bilden können, ja es erklärt sich selbst wie zwei nach entgegengesetzten Richtungen sich erstreckende Schweife entstehen mögen. Wir werden dieß nach Bessel sogleich durch nähere Ausführung des allgemeinen Prinzips andeuten, welches aus den erwähnten Hergängen sich abziehen läßt, nachdem wir noch den Kometenstoff selbst betrachtet haben.

So wenig freilich das Wesen dieser Polarkraft, so wenig ist die Natur des Kometenstoffs bekannt und durch keine Aehnlichkeit mit irdischen Erscheinungen zu beleuchten. Denn die Kometen, und zwar nicht nur die Nebelhüllen und Schweife, sondern auch die Kerne selbst sind durchscheinend und brechen das Licht nicht. Dieß hat sich mit Entschiedenheit an Fixsternen gezeigt, welche durch Kometen bedeckt wurden; sie blieben sichtbar, mehr oder minder geschwächt, aber nicht abgelenkt (durch Brechung). Was muß also das für ein Stoff sein, dem weder die Eigenschaften des Festen noch des Gasigen zukommen? Wenn ferner auch nicht alles eigene Licht den Kometen abzusprechen ist — Bessel schließt dieß aus einer plötzlichen Lichtabnahme, welche bei dem Halley'schen Kometen auf die fortwährende Zunahme bei seiner Annäherung zur Sonne gefolgt war — so ist es doch über allen Zweifel gewiß, daß sie der Hauptsache nach mit zurückgeworfenem Sonnenlicht und nicht mit eigenem Licht leuchten. Denn hiefür spricht nicht nur die Zunahme der Helligkeit mit der Annäherung zur Sonne, die auch stattfindet, ohne daß der Komet zugleich der Erde sich nähert, sondern auch der Umstand, daß das Kometenlicht polarisirtes Licht enthält, wobei man sich an die Erörterungen im fünften Abschnitt erinnern muß. So führen also die Kometen auf einen Zustand der Materie, von dem wir nichts Aehnliches auf der Erde kennen, sowie auf das Vorhandensein von anderen Weltkräften, welche der Massenanziehung zur Seite stehen. Ueberraschen darf indeß die Wahrnehmung von Polarität an fremden Weltkörpern nicht, wie Bessel bemerkt, da auch der Erdkörper eine solche besitzt, nämlich die magnetische, von welcher man jedoch bis jetzt nicht mit Sicherheit weiß, daß sie eine Beziehung zur Sonne hätte (man vergleiche den neunten Abschnitt).

Sind nun die bezeichnenden Merkmale des Kometenstoffs sehr geringe Dichte, Mangel an Strahlenbrechung, erstaunliche Flüchtigkeit, vermöge der sie ungeheure Räume mit verflüchtigter Materie füllen, äußerst lockere Verbindung ihrer Bestandtheile, die sich besonders in der schwingenden Bewegung zeigt: so kann man sich kaum etwas anderes unter

ihnen vorstellen, als Ansammlungen sehr lockerer Stofftheilchen, welchen nur wenig an der zur Verflüchtigung erforderlichen Wärme fehlt. Daher nimmt diese in so hohem Maße mit der Annäherung zur Sonne zu. So lange aber die Entfernung so beträchtlich ist, daß die Sonne auf die verschiedenen Theile des Kometenkörpers noch nicht verschieden einzuwirken vermag, sind dieselben durchaus in gleichmäßiger Verflüchtigung begriffen und erscheinen daher mit rundlichen Nebelhüllen. Erst bei größerer Annäherung wirkt die Sonne verschieden auf die verschiedenen Theile, und es offenbart sich nun die Wirkung der Polarkraft in den Ausströmungen nach bestimmten Richtungen. Von den bereits flüchtig gewordenen Theilchen müßte man zu weiterer Deutung der Erscheinungen annehmen, daß sie der Sonne feindlich polarisirt sind, während der Kern selbst entweder an sich schon der Sonne freundlich polarisirt ist, oder es auch erst bei gehöriger Annäherung wird. Jedenfalls kann sich die Folge davon in den Ausströmungsprocessen erst dann zeigen, wenn der Komet der Sonne so nahe ist, daß der Unterschied ihrer Wirkung auf die verschiedenen Theile seines Körpers merklich wird. Ist aber der Nebel feindlich zur Sonne, so wird er bei größerer Annäherung zu einem Schweif sich verlängern; ist der Kern sonnenfreundlich, so muß die andere Ausströmung zunächst der Sonne sich zukehren; sie geht aber in einem Raum vor sich, der mehr oder weniger feindlich polarisirten Stoff enthält, wo die ausströmenden Theilchen allmälig neutralisirt werden, daher sie in dem Maß, als sie sich weiter vom Kern entfernen, sonnenfeindlich werden und sich nach der entgegengesetzten Seite kehren müssen. Würde dagegen einmal noch kein hinreichender sonnenfeindlicher Nebel vorhanden sein, so könnte die sonnenfreundliche Ausströmung auch zu einem förmlichen der Sonne zugekehrten Schweif sich gestalten, wie in der in ihrer Art einzigen Erscheinung des Kometen von 1824. Hiemit mag jenes allgemeine Prinzip erhellen, welches Bessel aufgestellt hat.

Wir haben nun die Weltkörpernaturen und die merkwürdigsten Erscheinungen, welche das Sonnensystem darbietet, ein-

zeln kennen gelernt; es erübrigen aber noch gewichtige Betrachtungen über das Ganze. Wir haben so eben die Unmacht der regellos vertheilten Körper unseres Sonnensystems kennen gelernt, vermöge der diese Kometen keine Verwirrung in das Ganze bringen können. Wir haben im vierten Abschnitt den Einfluß der Planetenstörungen auf die Erde kennen gelernt, wornach diese Nebeneinflüsse den Haupteinfluß der Sonne nicht bedeutend verändern können. Dasselbe dürfen wir auch von den übrigen Planeten behaupten, dergestalt daß ein jeder in seiner Bahn um die Sonne erhalten wird, nicht ungestört zwar, aber ohne daß dadurch eine gänzliche Umgestaltung bewirkt werden könnte, sondern nur ein langsames Herumschwanken um einen mittleren Zustand, wie wir dieß bei der Erde nach allen wesentlichen Elementen gefunden haben. Das Sonnensystem ist also auf die Dauer angelegt, so daß sein Zustand im Wesentlichen sich für alle Zeiten gleich bleibt und in einer Art von beweglichem Gleichgewicht begriffen ist. Den Grund seiner Erhaltung trägt es in sich selbst, in seinem Bau, und er beruht kurzweg auf der Alleinherrschaft der Sonne, diese aber beruht ebenso sehr auf der Ueberwucht der Sonnenmasse, vermöge der sie alle Körper zusammen etwa achthalbhundertmal, jeden einzelnen zum mindesten über tausendmal überwiegt, als auf der Vertheilung der Hauptmassen, d. h. der Planeten in eine Folge von gehörig gesonderten Regionen. Diese Sonderung ist nämlich so, daß die Anziehung, welche die Sonne auf den entferntesten Planeten ausübt, stets durchschnittlich etwa 250mal, vorübergehend (in den ungünstigsten Umständen) mindestens noch 30mal die Anziehung des nächsten Nachbarplaneten überwiegt. Dieß ist das Gravitationsverhältniß des überwiegenden Centralkörpers, welches im Sonnensystem durchweg herrscht, denn es wiederholt sich in den ihm untergeordneten Sondersystemen oder in den Mondenwelten, während wir in der Sternenwelt andere Gravitationsverhältnisse kennen gelernt haben. Bemerken wir aber sorgfältig, daß jene durchgängige Alleinherrschaft des Centralkörpers nicht nur auf der Ueberwucht seiner Masse beruht, sondern auch auf der Son-

derung der gehorchenden Massen durch gehörige Zwischenräume; denn könnte ein Planet seinem Nachbar so nahe kommen, wie wir es bei Kometen bemerkt haben, so wäre die Oberherrschaft der Sonne wenigstens vorübergehend aufgehoben, und dadurch eine bedeutende Umgestaltung der Bahn möglich gemacht, Wiederholungen dieser Lösung des Bandes aber könnten zuletzt zu völliger Verwirrung des Ganzen führen.

Daß aber ein solcher Fall bei einem Planeten nicht eintreten kann, daß vielmehr im ungünstigsten Fall die Sonne stets noch etwa 30mal stärker bleibt, dieß beruht wieder auf zwei Umständen, auf dem Verhältniß der mittleren Entfernungen oder der Abstände der Planetenregionen und auf der geringen Abweichung der Planetenbahnen vom Kreis. Etwas Gesetzmäßiges läßt sich in den Zwischenräumen der Planetenregionen nicht verkennen, obwohl der bestimmte Ausdruck dieses Gesetzes, den die sogenannte Bode'sche Planetenprogression aufstellt, kaum zu den ausgemachten Dingen zu rechnen ist. Allerdings erhält man die mittleren Entfernungen der Planetenregionen von der Sonne der Reihe nach mit einer Annäherung, die zum Theil sehr groß, aber auch wieder sehr gering ist und zwar in runden Anzahlen von Millionen Meilen, wenn man zu den acht Millionen Meilen, um welche Merkur von der Sonne absteht, der Reihe nach die Glieder der geometrischen Progression, 6, 6 . 2, 6 . 4, 6 . 8, 6 . 16 u. s. w. oder die Zahlen 6, 12, 24, 48, 96 u. s. w. zulegt, wo jedes folgende Glied das Doppelte vom vorhergehenden ist. Jupiter z. B. ist der fünfte Planet von Venus an gezählt, man erhält somit seine ungefähre Entfernung von der Sonne in Millionen Meilen, wenn man zu der Zahl des Merkur (d. h. zu 8) das fünfte Glied jener Reihe (d. h. die Zahl 96) addirt, nämlich 104. Allein so gut diese Zahl zutrifft, sowie auch noch andere, so finden doch auch beträchtliche Abweichungen statt, namentlich aber bei Neptun, denn dieser ist nur 30 bis 33 Sonnenweiten entfernt, während man durch die Reihe auf 37 bis 38 Sonnenweiten gelangt. Ein zweiter Uebelstand bei diesem Gesetz besteht alsdann darin, daß der Reihe, wie man gesagt hat, das erste Glied fehlt, denn

man sieht nicht ein, wie es rückwärts von Merkur fortzusetzen oder wie es anzuwenden wäre, wenn Merkur nicht der sonnennächste Planet wäre. Und drittens sieht man seinen Grund nicht ein, warum nämlich gerade diese Zahlen und nicht andere, während die Bedeutung des unbestimmter gelassenen Gesetzes sehr klar ist, wie sich sogleich zeigen wird. Endlich stimmt zwar die Reihenfolge der Jupitersmonde leidlich mit dem genannten Gesetz überein, allein die der Saturnstrabanten weicht sehr davon ab, woraus hervorgeht, daß es den allgemeinen Typus der Gravitationssysteme mit überwiegendem Centralkörper nicht wohl enthalten kann.

Wir werden daher darauf verzichten, in der Bode'schen Progression den naturgemäßen Ausdruck von der Anlage der Planetenregionen zu finden, wir werden vielmehr behaupten, daß das wirkliche Gesetz seinem Wesen nach keine ganz bestimmten Zahlen liefern darf, weil den Planetenregionen eine gewisse Mächtigkeit, ein Spielraum zukommen muß, indem ja nicht blos die Mondenwelten dazu gehören, sondern auch der Fall vorkommt, daß mehrere Planeten in wenig verschiedenen Entfernungen von einander (als ein besonderes System) einer einzigen solchen Region angehören. Aber eine unbestimmte Gesetzmäßigkeit liegt gewiß zu Grunde und ihre Bedeutung wird uns vollends klar, wenn wir die allgemeine Eigenschaft der Planeten-Ellipsen mit hinzunehmen, die sehr wenig vom Kreis abweichen, wenigstens wenn man von den Kleinplaneten, sowie von Merkur absieht. Indeß übersteigt, auch mit Einschluß der letzteren, keine Excentricität den vierten Theil der mittleren Entfernung oder der Bahnweite, d. h. bei keinem Planeten steht die Sonnennähe oder Sonnenferne von dem Kreis der mittleren Entfernung weiter ab, als um deren vierten Theil. Sonach ist das größte Maß von Excentricität beträchtlich kleiner, beiläufig etwa die Hälfte von dem Zwischenraum zweier Nachbarbahnen, und deßhalb findet bei weitem keine Kreuzung der Bahnen statt, welche sich vielmehr in wohlgetrennte Regionen sondern. Deßhalb ist ferner die nächste Nähe, in welche vorübergehend zwei Nachbarplaneten kommen können, ein so beträcht-

licher Theil ihrer Abstände von der Sonne, daß diese stets die weit überwiegende Anziehung behält. Auch die Bahnen der Monde sind rundliche Ellipsen, ja die Trabanten von Jupiter und Saturn sind auffallend wenig excentrisch, und die Beobachtungen haben bei einigen (beim 1ten und 2ten Jupitersmond sowie beim 2ten Saturnsmond) noch keine merkliche Excentricität ergeben.

Zu dieser bedeutsamen Uebereinstimmung in den Zwischenräumen und Excentricitäten der Planetenbahnen gesellt sich eine zweite in der Richtung der Bewegung und in der geringen Abweichung von der Grundebene des Systems, welche durch den Aequator des Centralkörpers angezeigt ist. Diese Uebereinstimmung besteht darin, daß die Bewegung aller Planeten die gemeinsame Richtung von Westen nach Osten hat (wie man sie ausgehend von der Axendrehung der Erde bezeichnet, und welche auch die der Axendrehung des Centralkörpers ist), und daß sämmtliche Planetenbahnen gegen jene Grundebene, mithin auch unter einander geringe Neigungen haben, vollends wenn man wieder von den Kleinplaneten absieht. Aber auch mit Einschluß derselben übersteigt keine Neigung den dritten Theil eines rechten Winkels, d. h. kein Planet entfernt sich von der Grundebene weiter, als etliche und 30 Grad nach Norden und nach Süden, und alle Planetenbahnen sind auf diese Weise in einer Zone enthalten, der Thierkreiszone, welche den dritten Theil der scheinbaren Himmelskugel umfaßt, (wie wir bereits anderwärts anzuführen Gelegenheit hatten) und vom Sonnenäquator, der Grundebene des Systems, mitten durchzogen wird. Dasselbe gilt von den Umläufen der Monde und von den Axendrehungen der Planeten; nur eine einzige Ausnahme scheint das Uranussystem darzubieten, indem die Bahnen der zwei sicher bekannten Uranusmonde und daher vielleicht auch der Aequator dieses Planeten nahezu rechtwinklig zur Uranusbahn stehen sollen, dergestalt daß ihre Bewegung eher rückläufig als rechtläufig ist. Bei allen anderen, deren Axendrehung überhaupt ausgemacht ist, geht dieselbe in der besagten gemeinsamen Richtung vor sich und unter Winkeln gegen die Bahnebenen, welche 30 Grad nicht überschreiten, und die Mondbahnen im Jupiter- und Saturns-

system, sowie die Ringebene im letzteren sind sehr wenig von den Aequatorebenen dieser Planeten verschieden (etwas mehr bei der Erde, indem die Mondbahn mit dem Erdgleicher einen Winkel von 18 Grad macht).

Endlich gehört es noch zu den bedeutsamen Umständen, daß die Umlaufszeiten der verschiedenen Planeten so wenig einfache Verhältnisse unter einander haben, daß sie vielmehr maßfremde Größen zu sein scheinen, dergestalt daß keine, wenn auch noch so große Anzahl von Umläufen des einen einer vollen Anzahl von Umläufen des anderen genau gleich ist. Dieser Umstand ist bedeutsam, weil im entgegengesetzten Fall, wenn vollends ein einfaches Verhältniß zwischen den Umlaufszeiten zweier Nachbarplaneten Statt fände, diese Planeten stets nach einer bestimmten Zeit wieder in dieselbe Stellung zu einander kämen, woraus störende Wirkungen entsprängen, welche ohne Ende fort in einerlei Sinn wirkten, und wie klein sie an und für sich auch sein möchten, doch im Verlauf der Zeit einen umgestaltenden Einfluß ausübten. In der That beobachtet man auch eigenthümliche Unregelmäßigkeiten da, wo solche einfache Verhältnisse wenigstens annähernd Statt finden. Dahin gehört namentlich die große Ungleichheit von Jupiter und Saturn, deren Umlaufszeiten sich annähernd wie 2 zu 5 verhalten; es findet aber doch wieder in langen Zeiträumen eine Ausgleichung Statt, weil jenes Verhältniß nur annähernd Statt findet. In der That beruht auf dem in Rede stehenden Umstand unter anderem die Unveränderlichkeit der Bahnweiten und der Umlaufszeiten.

Diese Unveränderlichkeit ist aber das eine Hauptmoment in der Beständigkeit der Planetenbahnen; das andere aber besteht darin, daß die Excentricitäten und Bahnneigungen zwar allmälig in Folge der Störungen sich ändern, aber so, daß sie nur innerhalb gewisser Gränzen ab- und zunehmen, wie wir dieß bei der Erde gesehen haben. Daß also diese Hauptelemente der Planetenbahnen unveränderlich sind, oder nur innerhalb enger Gränzen umherschwanken, dieß beruht einerseits darauf, daß die Excentricitäten und Bahn-

neigungen ursprünglich gering waren, andererseits darauf, daß alle Bewegungen in einerlei Sinn vor sich gehen, und daß die Umlaufszeiten nicht in einfachen Verhältnissen zu einander stehen. So erhalten sich die Bahnen in der Anlage, die sie einmal haben, troß der Störungen für alle Zeiten. Fortlaufende Aenderungen erleiden dagegen nur die übrigen minder wichtigen Elemente der Bahnen; die großen Axen oder Apsidenlinien machen in langen Zeiträumen volle Umläufe in den Bahnebenen, wie wir bei der Erde gesehen haben, desgleichen die Durchschnittslinien der Bahnebenen mit der Grundebene des Systems. Rascher sind diese Aenderungen nur bei den Monden, nämlich unter dem mächtigen störenden Einfluß der Sonne, wovon wir ein Näheres im nächsten Abschnitt beim Mond bemerken werden.

So sind also die Hauptmassen des Sonnensystems auf eine bestimmte Zone des ganzen sphärisch um die Sonne sich ausbreitenden Raumes beschränkt und zugleich dauerhaft in eine Reihenfolge von Regionen gesondert. Die größten Massen sind wiederum diejenigen, die am wenigsten von der Grundebene abweichen und am meisten eine kreisförmige oder ringförmige Region einhalten. Die kleineren Massen weichen in beiden Hinsichten mehr ab, aber nur die masselosen Kometen durchstreifen den sphärischen Raum des Sonnensystems nach allen Richtungen und kreuzen die Regionen der Reihe nach. Jene Anlage wiederholt sich in den Sondersystemen, deren Vergleichung mit dem Hauptsystem ein weiterer Gegenstand unserer Betrachtung sein muß und zu der Frage nach den äußeren Gränzen des Sonnensystems führt. Der Eine Mond der Erde ist von ihr 60 Erdhalbmesser entfernt und vollendet seinen Umlauf um dieselbe in 27⅓ Erdentagen. Das Jupitersystem mißt 27 Jupiterhalbmesser, denn so weit steht der äußerste Mond von seinem Hauptplaneten ab, während der innerste nur 6 Jupitershalbmesser von ihm entfernt ist; die Umlaufszeit des letzteren beträgt 5, die des ersteren 40½ Jupiterstage. Im Saturnssystem steht der nächste Mond 2½, der entfernteste 64⅓ Saturnshalbmesser von dem Hauptplaneten

ab, und ihre Umlaufszeiten betragen beziehungsweise etwas über 2 und etwas über 181 Saturnstage. Im Uranussystem endlich sind die Aeußersten 13 und 91, oder, wenn man blos die sicher bekannten Monde berücksichtigt, 17 und nahezu 23 Uranushalbmesser; von einer Angabe ihrer Umlaufszeiten in Uranustagen kann aber nicht die Rede sein, weil die Axendrehung dieses Planeten unbekannt ist. Der sonnennächste Planet, welcher uns bekannt ist, Merkur, vollendet, in einer Entfernung von fast 90 Sonnenhalbmesser, seinen Umlauf in der Zeit von 3½ Umschwüngen der Sonne; der sonnenfernste aber, Neptun, hat eine Entfernung von mindestens 6480 Sonnenhalbmessern, und die Sonne macht midestens 2480 Drehungen während eines seiner Umläufe. Wir haben aber bereits weiter oben die Möglichkeit eines noch sonnennäheren Planeten diesseits des Merkur und die Wahrscheinlichkeit noch mehrerer sonnenfernerer Planeten jenseits des Neptun angedeutet.

Wie viele Planeten aber noch jenseits des Neptun vorhanden sein möchten, diese Frage hängt offenbar mit der nach den Gränzen des Sonnensystems zusammen. Darf man sich erlauben, hierüber vermuthungsweise sich zu ergehen, so ist man zunächst an die Entfernung gewiesen, bis in welche die Alleinherrschaft der Sonne ihren Mitsonnen gegenüber sich erstrecken mag. Wenn nun der nächste Fixstern von der Sonne 200000 Sonnenweiten entfernt ist, so wären beide in der halben Entfernung (bei Voraussetzung gleicher Massen) gleich mächtig und würden sich hier die Gränzen ihrer Reiche streitig machen. Allein wie die Mondenwelten innerhalb des Sonnensystems durch Räume getrennt sind, gegen welche ihre Abmessungen nur klein sind: so ist es auch wahrscheinlich, daß die Abmessungen verschiedener Sonnensysteme auf ähnliche Weise zu den Entfernungen der Sonne selbst sich verhalten. Nun beträgt die Entfernung des Monds von der Erde nur etwa den hundertsten Theil von der ihres nächsten Planetennachbars, der Halbmesser des Jupitersystems ist beinahe der zweihundertste Theil des Abstands, welcher die Kleinplaneten von Jupiter trennt, und der Halbmesser des Saturnsystems macht etwa den 160sten Theil

seiner Entfernung von Jupiter. So erhielte man den 100sten bis 200sten Theil einer Sternweite, oder 2000 bis 1000 Sonnenweiten für den Haupthalbmesser des Sonnensystems. Die größte Entfernung von der Sonne, zu welcher Beobachtungen geführt haben, ist der Abstand der Sonnenferne des Kometen von 1680, welche 850 Sonnenweiten beträgt und einer Umlaufszeit von 8½ Jahrtausenden entspricht. Nehmen wir nun an, daß die Planetenwelt innerhalb tausend Sonnenweiten beschlossen sei, und legen wir das Bodesche Fortschreitungsgesetz zu Grunde, indem wir von Neptun an die Entfernung für jeden folgenden Planeten verdoppeln, so hätten noch fünf Planeten jenseits des Neptun Platz, deren äußerster eine Bahnweite von 960 Sonnenweiten und eine Umlaufszeit von fast 30 Jahrtausenden hätte. Darf man endlich annehmen, daß diese äußeren Planeten alle große Körper sind, deren Bahnen nur wenig gegen die Grundebene des Systems sich neigen, so ergäbe sich für den Raum, in welchem die Planeten verweilen, eine scheiben- oder linsenförmige Gestalt, deren Dicke gegen den Hauptdurchmesser (von etwa 2000 Sonnenweiten) nur unbeträchtlich wäre, was sich uns ähnlicherweise bei unserem Sternsystem herausgestellt hat.

Schon im dritten Abschnitt hat uns die Frage nach der Ursache der Seitengeschwindigkeit der Erde oder nach dem ursprünglichen Anstoß zum Umlauf um die Sonne an den Urzustand des Sonnensystems gewiesen und an eine allgemeine Axendrehung der zu demselben gehörigen Materie. Dieselbe Frage wiederholt sich bei den übrigen Planeten, sowie bei den Sondersystemen, und jene Uebereinstimmung in Richtung der Bewegung, Lage und Gestalt der Bahnen, worin wir vorhin kennzeichnende Merkmale der Planeten gefunden haben, deuten jedenfalls auf eine gemeinschaftliche Ursache hin, aus welcher die Entstehung der Planetenzonen zugleich mit dem Anfang der Umlaufsbewegungen (dem ursprünglichen Seitenanstoß) herzuleiten wäre. Diese Ursache nun hat man, wie damals schon angedeutet wurde, in einer ursprünglichen Axendrehung der noch in einem chaotischen nebelartigen Zustande befindlichen Materie

des jetzigen Sonnensystems zu finden gesucht, wo diese Materie noch nicht ein System gesonderter Massen, sondern eine Art von stetiger Raumerfüllung bildete. In der That, so viele Fragen dabei noch über die Bildung der einzelnen Gravitationspunkte, woraus zuletzt die jetzigen Massen und Massensysteme geworden wären, zurückbleiben: so unmittelbar ergeben sich daraus jene Uebereinstimmungen. Der Antrieb zum Umlauf mit der gemeinschaftlichen Richtung ist nichts anderes als die Geschwindigkeit der Axendrehung; nicht minder aber erhellt die nahezu kreisförmige Gestalt der Bahnen, da denselben die Umschwungkreise der Axendrehung zu Grunde liegen. Die Schwungkraft dieser ungeheuren Axendrehung endlich erklärt es, daß die Materie in die Gegend des stärksten Umschwungs, d. h. in die Aequatorialzone des Sonnensystems sich zusammenschaaren, und daß der Sonnenäquator die Grundebene des Systems werden mußte, geradeso wie die irdische Schwungkraft die Massenanschwellung der Erde unter ihrem Aequator erklärt, nur daß dort dieser Hergang in riesenhaftem Maßstab zu denken ist; daher denn die geringen Neigungen zumal der größeren Massen, welche in ihrer Wucht so zu sagen mehr Halt hatten, gegen die Grundebene.

Aber wie hat man sich die Hergänge zu denken, durch welche sich aus dem umschwingenden Nebelchaos die jetzigen Massen herausballten? Es ist ein mißliches Unternehmen, von etwas eine Vorstellung sich zu machen, wofür alle Erfahrung mangelt, indeß haben wir doch am Ring des Saturns einen bedeutsamen Anhaltspunkt. Man wird dadurch zu der Annahme aufgefordert, daß bei dem Verdichtungsproceß der zerstreuten Materie, welcher nach dem Schwerpunkt des Ganzen zu vor sich gehen mußte, in der Aequatorialzone der Sonne in verschiedenen Abständen zuerst kreisende Ringe sich absetzten, welche bei zunehmender Verdichtung durch die Schwungkraft selbst (und andere Ursachen) wieder geborsten sind. Die Ringtrümmer konnten sich sofort beim Kreisen um die Sonne in Eine Masse zusammenballen, und je nach der Masse und Natur der einzelnen Ringe konnte der nämliche Proceß der Ringbildung und Ringzertrümmerung sich wiederholen oder nicht.

Im ersten Fall entstanden Sondersysteme, und in einem derselben hätte sich eine Spur des Hergangs erhalten, der Saturnsring. Es läßt sich aber auch der Fall denken, daß es nicht zur Vereinigung der zerstreuten Ringtrümmer, zur Bildung eines einzigen Körpers oder eines Sondersystems kam, und diesen hätten wir in jener merkwürdigen Mittelregion der Kleinplaneten. Ja es blieb wohl auch in den anderen Regionen Materie außer dem Bereich der Planetnbildung oder es blieb eine Menge von zerstreuten kleinen Ringtrümmern zurück, um sich sofort in ganzen Schwärmen von Asteroiden in der betreffenden Region umherzutreiben, und in der That haben wir dieß in der Erdregion an den Sternschnuppen und Meteorsteinen. So unterschiede sich denn jene Mittelregion von anderen nur in der Größe der vereinzelt gebliebenen Trümmer des ursprünglichen Rings, also mehr nur dem Grad als der Art nach. Auch in den Kometen endlich hätten wir Materie, die außer dem Bereich der Massenballung blieb, große Ansammlungen flüchtiger Stoffe, welche aber „gleich ungeheuren Weltwolken“ von dem sich verdichtenden Stoff der Ringe gänzlich sich trennten, um sofort die Räume des Sonnensystems regellos zu durchschwärmen.

Offenbar ist dieß die natürlichste Ansicht, welche man sich nach den erwähnten Anhaltspunkten vom Ursprung des Sonnensystems bilden kann; aber es bleiben freilich gar viele Fragen dabei zurück. Wir wollen uns nicht dabei aufhalten, denn zu einer gründlichen Erledigung ist doch keine Aussicht vorhanden. Aber die vielfach ausgesprochene, von Olbers herrührende Ansicht vom Ursprung der Kleinplaneten-Gruppe müssen wir noch der obigen gegenüberstellen. Hiernach wären sie Trümmer eines einzigen Planeten, welche bei dieser Zertrümmerung in verschiedenen Richtungen und Geschwindigkeiten fortgeschleudert worden wären, wodurch sich die verschiedenen, aber verwandten Bahnen ergeben hätten. Und merkwürdig ist es, daß der große Astronom, von dieser Vermuthung geleitet, den vierten dieser Körper, die Vesta, planmäßig entdeckte. Ist nämlich, so schloß er, eine solche Zertrümmerung die Ursache von dem Vorhandensein dieser Körper, so muß der Ort, wo dieselbe

vor sich ging, den verschiedenen Bahnen gemeinschaftlich zukommen, oder es wird wenigstens Eine Gegend des Himmels geben, in welcher alle jene Trümmer bei jedem ihrer Umläufe sich zeigen müssen (weil nämlich die Planeten nicht genau an denselben Ort zurückkommen, indem sich vielmehr die Punkte, Linien und Ebenen der Bahnen allmälig im Verlauf der Zeiten verschieben). Eine solche Gegend war in der That durch die vorhandenen drei Kleinplaneten (Ceres, Pallas, Vesta) angezeigt, daher beschränkte Olbers auf dieselbe seine Nachforschungen nach weiteren Trümmern, er legte sich so zu sagen an der Stelle, wo sie seiner Vermuthung nach vorbeikommen mußten, auf die Lauer, und erwischte daselbst im Jahr 1807 wirklich die Vesta. Ja er setzte seinen Hinterhalt noch Jahre lang fort und glaubte versichern zu können, daß bis 1815 kein anderer Planet mehr, außer den vieren, jene Gegend passirt hätte, woraus er sofort, da der Zeitraum von 1807 bis 1815 die Umlaufszeit der Kleinplaneten weit übertrifft, zu schließen geneigt war, daß auch keiner mehr verhanden sein möchte, wenn anders jene Vermuthung gegründet sei. Dieß verhält sich anders, wie wir jetzt wissen, doch Asträa wenigstens wiederlegt die Olbers'sche Hypothese nicht, da sie auch in jener Gegend vorbeikommt. Und in der That, wenn sich dasselbe sofort bei allen übrigen herausstellte, so spräche dieß sehr für die erörterte Ansicht. Daß aber die bloße Mehrheit von Körpern hiezu nicht nöthigt, daß man sich vielmehr die Sache auch auf gerade entgegengesetzte Art zurechtlegen kann, das haben wir oben gesehen; und wenn hier die Frage zurückbleibt, warum es eben in dieser fünften Region nicht zur Bildung eines einzigen Hauptkörpers gekommen sei, so erhebt sich bei der Olbers'schen Hypothese die Frage, warum es gerade hier, und wie es zu einer Planetenzertrümmerung gekommen sei?

VIII.

Die Region und das System der Erde.

Unsere Planetenregion enthält außer dem Sondersystem der Erde einen die Sonne umkreisenden Nebelring, das Thierkreislicht, und Schwärme von Asteroiden, welche ebenfalls um die Sonne kreisen und mit der Erde selbst als kosmische Ankömmlinge, Meteorsteine und Sternschnuppen zusammentreffen, um sofort ihr anzugehören. Das System der Erde besteht nur aus zwei Körpern, der Erde und dem Mond. Die kosmischen Verhältnisse der Erde hat das erste Buch auseinandergesetzt, ihre eigene Naturgeschichte ist Gegenstand der zwei folgenden Bücher. So bleiben diesem Abschnitt drei Gegenstände zur Erörterung, der Trabant der Erde, das Thierkreislicht und die irdischen Asteroiden. Beim Mond hat seine Nähe die Kenntniß von Einzelheiten seiner Oberfläche veranlaßt, wie sie von keinem anderen Weltkörper je sich erwarten lassen; zuvörderst aber haben wir zwei Gegenstände zu erörtern, welche ohne Zweifel allgemeine Merkmale der Nebenplaneten sind, die eigenthümlichen Ungleichheiten seiner Bewegung und seine nicht minder eigenthümliche Axendrehung.

Der Mond erfährt, wie die anderen Planetentrabanten, eigenthümliche Störungen, weil die Sonne selbst hier als der störende Körper auftritt. Abgesehen von den Störungen ist die Bahn des Monds um die Erde mäßig elliptisch, die Excentricität beträgt gegenwärtig etwas über $1/20$ der mittleren Entfernung von 51800 Meilen, die größte ist 54600, die kleinste 48900 Meilen. Die hieraus entspringende Ungleichheit

macht im größten Werth 6¼ Grad aus, d. h. um so viel kann der elliptische Mondort von demjenigen abweichen, der ihm bei gleichförmiger Bewegung zukäme, oder von dem mittleren Mondort. Dieser elliptische Mondort kann aber wieder durch den Einfluß der Sonne um etwa zwei Grad verändert werden, indem sie den Mond bald beschleunigt bald verzögert, und zwar in verschiedenen Stellungen verschieden. Während nämlich die Sonne mit der vollen Kraft ihrer Anziehung Erde und Mond miteinander, oder vielmehr ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, welcher noch in den Erdkörper selbst fällt, jährlich herumführt, zieht sie abwechselnd bald den Mond bald die Erde stärker an, je nachdem sie dem einen oder dem anderen Körper näher steht, vergrößert dadurch den Abstand beider Körper, und verzögert somit die Bewegung des Mondes, am stärksten zur Zeit des Vollmonds und des Neumonds. Je gleicher ferner die Entfernungen beider Körper von der Sonne sind, einen desto stärkeren Winkel machen die Richtungen der Anziehung miteinander; werden aber zwei Körper mit gleicher Stärke in verschiedenen Richtungen nach einem Punkt gezogen, so müssen sie sich einander nähern; der Mond wird daher beschleunigt um die Zeit der Viertel. Die hiemit näher ausgeführte Wirkung ist zwar nur eine der vielen Mondsstörungen, aber die stärkste (im Betrag von mehr als einem Grad), die sich überdieß in den vier Hauptpunkten des Mondlaufs vorzugsweise äußert, daher sie schon von den Alten bemerkt wurde (bekannt unter dem Namen der Evection). Eine zweite, im Betrag nur halb so groß als die Evection, wurde ebenfalls noch vor der Zeit der genauen Betrachtungen von Tycho wahrgenommen und Variation genannt; sie äußert sich am stärksten in den mittleren Punkten zwischen den Punkten der vier Hauptphasen, abwechselnd beschleunigend und verzögernd, und rührt von dem bald spitzen bald stumpfen Winkel der beiden Richtungen her, in welchen der Mond von Erde und Sonne angezogen wird. Die dritte der Größe nach richtet sich nach den Jahreszeiten der Erde, indem sie von der Verschiedenheit der Anziehung in den verschiedenen Entfernungen der Erde von der Sonne herrührt, die jährliche, von der elliptischen Gestalt der Erdbahn ab-

hängige Ungleichheit (ebenfalls schon von Tycho wenigstens angedeutet).

Dieß sind die bedeutendsten unter den sogenannten periodischen Ungleichheiten (deren Perioden insbesondere die Umlaufszeiten der beiden Körper selbst sind, der Monat und das Jahr). Allein die heutige Mondstheorie kennt mehr als hundert verschiedene Ungleichheiten des Mondlaufs, mit Einschluß der von den Planeten herrührenden Störungen; denn jede der größeren Ungleichheiten hat wieder Verschiedenheiten in den Anziehungen zur Folge, woraus neue kleinere Ungleichheiten sich ergeben. Wir können nicht umhin noch zwei minder beträchtliche Ungleichheiten des Monds zu erwähnen, weil sie höchst merkwürdige Folgerungen dargeboten haben. Unter den verschiedenen Sonnenstörungen befindet sich nämlich eine, die parallaktische, welche lediglich von dem Betrag der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde in der Art abhängt, daß ihr höchster Betrag der Sonnenparallaxe gleich ist, und man hat daraus in der That diese, also die Entfernung der Erde von der Sonne selbst, ziemlich übereinstimmend mit den wirklichen Messungen hergeleitet. Unter den anderweitigen Störungen kommen ferner solche vor, die ihren Grund in der Abweichung der Erde von der Kugelgestalt haben, und aus diesen hat man einen Betrag der Abplattung der Erde gefolgert, welcher ebenfalls mit den unmittelbaren Messungen (Gradmessungen und Pendelbeobachtungen) sehr zusammenstimmt. So konnte also der Astronom, ohne seine Sternwarte zu verlassen, durch sorgfältige Mondbeobachtungen Größen ermitteln, deren unmittelbare Bestimmung Messungen erfordert, welche an verschiedenen entlegenen Orten der Erdoberfläche angestellt werden müssen.

Die merkwürdigsten Eigenthümlichkeiten bietet aber der Mondlauf in den Störungen dar, durch welche sich die Bahnelemente selbst allmälig verändern; denn während hier bei den Planeten ungeheure Zeiträume vergehen, bis der ursprüngliche Zustand sich hergestellt hat, wie wir im vierten Abschnitt an der Erde gesehen haben, gehen diese Veränderungen beim Mond sehr rasch von statten, so daß Jahre an die Stelle von Jahrtau-

senken treten. Die Apsidenlinie der Mondbahn vollendet in nicht ganz 9 Jahren einen vollen Umlauf in ihrer Ebene, und zwar rechtläufig von Westen nach Osten wie die Bewegung des Monds selbst, die Erdnähe des Mondes findet also schon nach $4^1/_2$ Jahren an der gerade entgegengesetzten Stelle des Himmels statt von derjenigen, wo sie vor dieser Zeit statt hatte. Etwas langsamer verändert sich die Durchschnittslinie der Mondbahn mit der Erdbahn, indem sie (oder, wie man zu sagen pflegt, die Mondsknoten) in $18^2/_3$ Jahren rückläufig die Ekliptik rund herum durchstreicht, und hierin liegt der Grund, warum nach 18 Jahren die von den Mondsknoten, d. h. von der Stellung des Monds zur Erdbahn abhängigen Finsternisse so ziemlich wieder auf dieselben Jahrestage fallen. Hierin liegt auch der Grund von der Schwankung der Erdaxe, die wir im zweiten Abschnitt erwähnt haben, einer periodischen Ungleichheit in der Bewegung der Erdaxe, die sich ausgleicht, so oft der Mond an dieselbe Stelle der Ekliptik zurückkehrt. Beide Bewegungen sind indeß keineswegs gleichförmig, sondern haben selbst wieder ihre Ungleichheiten, die erst in viel längeren Zeiträumen sich ausgleichen. Die Neigung der Mondbahn gegen die Erdbahn schwankt ebenfalls in kurzen Zeiträumen, aber zwischen sehr engen Gränzen hin und her, denn die Aenderung beträgt weniger als den dritten Theil eines Grads. Die Mondbahn liegt übrigens zwischen der Ekliptik und dem Aequator so, daß sie mit jener einen Winkel von 5 Grad, mit diesem einen Winkel von 18 Grad macht, und hierin unterscheidet sich der Erdmond sehr von den Monden oder äußeren Planeten, namentlich Saturns, wo die Mondbahnen wenig vom Aequator, aber stark von der Bahnebene des Hauptplaneten abweichen. Das System der Erde streitet also gegen das Gesetz, daß die Trabantenbahnen nahe mit den Planetengleichern zusammenfallen.

Außer den kurzen Perioden, in welchen die genannten Veränderungen der Mondbahnelemente vor sich gehen, ist eine nicht minder merkwürdige Eigenthümlichkeit die Veränderlichkeit der großen Axe oder der Umlaufszeit, die sogenannte sekuläre Beschleunigung der mittleren Bewegung des Mondes

(eine sogenannte „sekuläre Störung" wegen ihrer außerordentlich langen Periode). Aus Vergleichung der ältesten Beobachtungen von Finsternissen, seit welchen der Mond Myriaden von Umläufen vollendet hat, geht hervor, daß die Umlaufszeit des Monds kürzer geworden ist, und fortwährend kürzer wird, aber äußerst langsam, indem es in 2000 Jahren erst eine halbe Sekunde ausmacht, was einer Abnahme der Bahnweite um etwa 180 Fuß entspricht. Man darf aber nicht befürchten, daß dieß so fortgehen, und daß nach Millionen von Jahren der Mond mit der Erde zusammenstürzen möchte, denn nach Myriaden von Jahren wird die Beschleunigung wieder in Verzögerung, die Annäherung in Entfernung übergehen. Dieß weiß man gewiß, seitdem Laplace die Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung enthüllt hat. Wir haben oben gesehen, daß die Excentricität der Erdbahn die jährliche Ungleichheit des Monds zur Folge hat; aber diese Excentricität bleibt sich selbst nicht gleich, sondern ändert sich langsam zwischen engen Gränzen innerhalb ungeheurer Zeiträume, wie wir im vierten Abschnitt gesehen haben; daher rührt also jene Aenderung in der mittleren Entfernung und Bewegung des Mondes, welche in entsprechenden Perioden zwischen engen Gränzen ab- und zunimmt. Auf ähnlichen Umständen beruhen die seculären Ungleichheiten in der Bewegung der Knoten und Apsiden des Mondes.

Schon am Schluß des vierten Hauptstücks haben wir auf die mannigfaltigen epicycloidischen Bewegungen aufmerksam gemacht, die sich im Weltall sozusagen aufeinanderthürmen, indem die kreisenden Bewegungen um selbst kreisende Mittelpunkte stattfinden. Dabei können zwei Fälle stattfinden. Entweder durchkreuzt sich die epicycloidische Bahn wiederholt und bildet eine Folge von Schleifen, oder sie durchkreuzt sich nicht und biegt wellenförmig zu beiden Seiten der Hauptbahn aus. Das letztere gilt von der jährlichen Bahn des Mondes um die Sonne, denn seine beziehungsweise Geschwindigkeit in seiner Bewegung um die Erde ist 30mal geringer als die mit der Erde gemeinschaftliche Geschwindigkeit um die Sonne, welche 4 Meilen in der Sekunde beträgt. Das Jahr des Mondes,

welches den Kreislauf des Sonnenstandes bestimmt, ist dasselbe mit dem Erdjahr; es besteht aber für ihn nur aus so viel Tagen (Zeiträumen des Wechsels von Tag und Nacht), als es Umläufe des Mondes um die Erde enthält. Denn die beiden Zeiten, diejenige der Axendrehung des Mondes und die seines Umlaufs um die Erde sind gleich, und damit kommen wir auf die eigenthümlichen Drehungsverhältnisse des Mondes, welche er höchst wahrscheinlich auch mit allen Trabanten theilt.

Der Mond dreht sich also genau in der Zeit seines Umlaufs (des Sternmonats) um eine Axe, welche nahezu rechtwinklig zur Ebene der Erdbahn steht, aber in der entgegengesetzten Richtung Ost-West. Der Mondäquator neigt sich gegen diese Ebene nur unter einem Winkel von 1½ Grad, liegt stets zwischen dieser und der Mondbahnebene (deren Neigung 5 Grad beträgt) und schneidet sie stets in denselben Punkten, wie seine Bahnebene, wenn man von gewissen periodischen Veränderungen der letzteren Durchschnittspunkte absieht. Die Durchschnittspunkte des Mondgleichers mit der Ekliptik fallen also mit den mittleren Mondsknoten zusammen und theilen die obenerwähnte rückläufige Bewegung, vermöge deren sie in 6793 Tagen einen Umlauf machen. Hieraus erklärt sich von selbst, warum uns der Mond stets dieselbe Seite zukehrt, sein uraltes unveränderliches Gesicht; denn in dem Maß als der Mond in seiner Bahn um die Erde fortrückt und uns allmälig andere Theile seiner Oberfläche zukehren sollte, dreht sich vermöge der in entgegengesetzter Richtung vor sich gehenden Axendrehung die ursprüngliche Seite nach. Weil indeß die Axendrehung wie die übrigen Axendrehungen, welche wir kennen, gleichförmig, der Umlauf um die Erde aber ungleichförmig ist, und weil die Ebenen der Bahn und des Aequators Winkel miteinander machen, so tritt allmälig noch eine Zone der jenseitigen Mondhalbkugel in unseren Gesichtskreis, welche 7 bis 8 Grad in der Breite hält, die aber nicht nach allen Richtungen gleich groß ist. Dieß ist die sogenannte Schwankung (Libration) des Mondes, übrigens mehr eine scheinbare als eine physische Schwankung.

Die Mechanik zeigt nun noch, daß diese Axendrehungsverhältnisse in **Folge der Erdanziehung** sich genau herstellen mußten und auf ewige Zeiten sich erhalten werden, wenn sie ursprünglich nur annähernd vorhanden waren. Denn kehrte der Mond ursprünglich, zur Zeit des flüssigen Urzustands, der Erde vorherrschend eine und dieselbe Seite zu, so mußte sich durch die Anziehung der Erde in dieser Mondhälfte mehr Masse anhäufen, sie mußte schwerer, also stärker von der Erde angezogen werden, als die abgewandte Mondhälfte, und mithin das Bestreben erhalten, der Erde sich zuzudrehen, dergestalt daß derjenige Monddurchmesser, der durch die Mitte jener **Massenanschwellung** geht, dem Mittelpunkt der Erde sich zurichtete. Durch dieses Bestreben aber mußten die beiden Zeiträume der Axendrehung und des Umlaufs vollkommen gleich werden, wenn sie auch anfangs etwas von einander abwiechen. Die ursprüngliche annähernde Gleichheit beider Bewegungen läßt sich indeß zur Zeit nicht weiter erklären; sie ist aber schwerlich zufällig, zumal da sie eine allgemeine Eigenschaft der Mondsnatur zu sein scheint, und deutet auf das Vorhandensein **besonderer Bedingungen bei Bildung der Mondsysteme**. So führen also die Axendrehungsverhältnisse des Monds zugleich auf eine **eigenthümliche Abweichung von der Kugelgestalt**, ganz verschieden von der Abplattung der Planeten, oder zunächst auf eine Abweichung von der ebenmäßigen Vertheilung der Masse um den Schwerpunkt, vermöge deren die der Erde zugewandte Mondhälfte schwerer, übrigens ohne Zweifel auch ausgewölbter ist, als die andere.

Wie anders sich die **Jahreszeiten und Zonen auf dem Mond** gestalten, läßt sich ermessen, wenn man einerseits den langsamen Tag- und Nachtwechsel, andrerseits die geringe Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik bedenkt, vermöge der die Verhältnisse des Monds dem einen der beiden Aeußersten sich nähern. Unter dem Mondäquator dauert der Tag stets 354½ Stunden, und noch in der Breite von 88½ Grad wechselt Tag und Nacht stets alle Monat, so daß der Unterschied von Tag und Nacht 190 Stunden beträgt. Weiterhin

treten zwar die Eigenschaften der Polarzone auf, allein die Sonne sinkt nie tiefer als 1½ Grad unter den Horizont beider Pole, noch erhebt sie sich um mehr darüber. Daher kommt es, daß schon sehr mäßige Höhen an den Mondpolen ununterbrochenen Sonnenschein haben müssen, entsprechende kesselförmige Vertiefungen aber die Sonne nie sehen können. Solche giebt es aber in der That, man sieht wirklich an den Mondpolen zu allen Zeiten helle Punkte, die wie Lichtinseln aus dem umgebenden Dunkel hervorstrahlen. Die Nächte auf der diesseitigen Mondhälfte endlich werden vom Erdschein 14mal stärker erleuchtet, als die Erdnächte vom Mondschein, da nach dem Größenverhältniß beider Körper die Erde vom Mond aus als eine 14mal größere Scheibe erscheint. Diese Beleuchtung ist auch zur Zeit der Vollerde, d. h. des Neumonds, so stark, daß man sie von der Erde aus sieht, das sogenannte aschfarbene Licht der Mondscheibe in den ersten Tagen nach dem Neumond.

Daß der Mond von der Erde dem Raum nach 49mal, der Masse nach 88mal übertroffen wird, und daß daher seine mittlere Dichte etwas über halb so groß ist als die der Erde, oder 3mal so groß als die Dichte des Wassers, wurde schon an einer anderen Stelle bemerkt. Die Schwere auf der Mondoberfläche ist 6⅔mal geringer als die Erdschwere, der Fallraum in der ersten Sekunde beträgt nur 2⅓ Fuß; ein irdischer Centner wiegt dort nur 16 Pfund, und eine Höhe von 10 Fuß gilt dort für 68 Fuß Höhe (nämlich beides hinsichtlich des Widerstands gegen anderweitige Kräfte, z. B. Steigung einer Straße u. s. w.). Wie anders werden schon dadurch die Oberflächenverhältnisse des Mondes verglichen mit denen der Erde, und auf entgegengesetzte Art als bei der Sonne! Dazu kommt aber als das entscheidendste Merkmal gänzlicher Verschiedenheit der Mangel einer Atmosphäre. Wo aber keine Luft ist, da ist auch kein Wasser und kein Feuer und, dürfen wir wohl auch hinzufügen, kein Leben; es giebt überhaupt keine Veränderung der Oberfläche. Der Mond ist ein gänzlich starrer Körper, so unveränderlich, wie ein ohne Zutritt von Wasser und Luft aufbewahrtes Felsstück. Daß aber der Mond keine

Gashülle hat, schließt man mit Sicherheit aus dem völligen Mangel an Strahlenbrechung bei Sternbedeckungen, d. h. wenn Fixsterne hinter dem Mond verschwinden und wieder sichtbar werden, so findet nie eine Ablenkung der Lichtstrahlen statt, was doch der Fall sein müßte, wenn der Mond eine Gashülle hätte.

Diejenigen, welche sich für eine Mondatmosphäre verkämpft haben, haben eingewendet, daß der Mondrand, an welchem die Sterne verschwinden und wieder erscheinen, mit hohen Gebirgen besetzt sein könne, an deren Spitzen die Atmosphäre nothwendig weniger dicht sein müsse, als in den Niederungen, wo also immerhin eine dichtere Hülle vorhanden sein könnte. Allein wenn man, unter den günstigsten Annahmen für den Mond, wirklich rechnet, so bringt man immer noch nicht den 500sten Theil von der Dichte der irdischen Atmosphäre heraus, eine Dichte, welcher ein Barometerstand von etwa 1/20 Zoll entspräche, zu dessen Hervorbringung selten eine Luftpumpe ausreicht. Dieß ist so gut als Nichts, es ist aber auch viel wahrscheinlicher, daß wirklich gar Nichts von einer Atmosphäre vorhanden ist, und gewiß ist, daß keine Erscheinung auch nur die geringste Spur von einer Atmosphäre andeutet.

Es erübrigt noch, über die auffallenden Unebenheiten der Mondoberfläche, die zahlreichen Erhöhungen und Vertiefungen zu sprechen, wobei wir vorzugsweise der Besselschen Darstellung folgen. Das Vorhandensein der Berge sieht man sehr deutlich an den Schatten, welchen sie im Sonnenschein in die Niederungen werfen, ja man wird durch Messung der Schattenlänge sogar in den Stand gesetzt, die Berghöhen zu bestimmen, d. h. die beziehungsweise Erhebung des Bergs über die umgebende Niederung (also bloße Höhenunterschiede). Der größte Höhenunterschied, welchen man angetroffen hat, beträgt 22360 Pariser Fuß, erreicht also noch nicht die Meereshöhe des höchsten Erdbergs, die man zu etwa 25000 Fuß schätzt. Aber abgesehen davon, daß letztere Höhe die Erhebung über die tiefsten Theile der Erdoberfläche angiebt, erstere nur die Erhebung über die Umgebung, die selbst eine Hochebene sein kann: so ist die

Höhe der Mondberge jedenfalls im Verhältniß zum Mondkörper beträchtlicher als die der irdischen Gebirge, wozu noch der Umstand kommt, daß beim Mond Höhenunterschiede von mehr als 18000 Fuß überaus häufig sind. Die Mondfläche ist also nach Höhe und Menge der bedeutenden Hervorragungen unebener und rauher als die Erdfläche; aber auch in der Gestalt und Bildung der Höhen zeigen sich auffallende Verschiedenheiten von der Erde, vor allem in der mehr oder weniger regelmäßigen kreisartigen Form, welche zwar nicht alles Mondgebirge besitzt, die aber doch so vorherrscht, daß es keine Mondgegend gibt, wo man sie nicht antrifft.

Die kleinsten Gebilde der Art, welche man auf dem Mond wahrnimmt, erinnern an die Krater unserer Vulkane, weshalb man diese Bildung überhaupt die Kraterform genannt hat, besser aber im Allgemeinen von Wallform spräche. Ein oft sehr steil aufsteigender Bergwall umschließt nämlich einen Raum von kleinem Durchmesser bis zu 30 Meilen und darüber, in dessen Innerem sich häufig kleinere ähnliche Bildungen zeigen, sowie auch auf den größeren Bergwällen selbst. Wir werden daher unter den zahllosen Bergwällen der Art, welche der Mond zeigt, die kleineren, als die eigentlichen Krater, von den größeren, oder den Ringgebirgen, unterscheiden. Die Krater sind regelmäßig rund und zeigen immer einen kugelförmig vertieften Boden, vergleichbar den Spuren, welche Luftblasen hinterlassen, die in einem Stoff, wie flüssiges Pech, vor dem Erkalten desselben aufsteigen; die kleinsten sind so groß oder größer, als die größten Vulkankrater auf Erden und auch dadurch wesentlich verschieden, daß man ihren Boden sieht; sie sind endlich in wahrhaft unzählbarer Menge vorhanden, dergestalt daß weite Gegenden damit übersäet erscheinen. Die Ringgebirge von 10, 20, 30 Meilen Durchmesser sind nicht so regelmäßig geformt, meistens umgeben mehrere oft mit einander verbundene Ketten einen inneren Raum, in den sich ein Zweig derselben oft noch hineinerstreckt, sowie sich auch abgesonderte Spitzberge darin erheben. „Bei Betrachtung dieser Erscheinungen kann man sich," sagt Bessel, „kaum der Vorstellung erwehren, daß sie Ueberreste

von Aufblähungen sind, welche die Oberfläche des Monds in mehr oder minder flüssigem Zustand erfahren hat; die früher entstandenen Ringgebirge erscheinen wie Ueberreste gigantischer Blasen, deren Ränder bei noch vorhandener größerer Flüssigkeit der Masse zum Theil wieder verflossen und dadurch die Form zusammengesetzter Gebirge annahmen; die späteren kleineren Krater erscheinen wie das Produkt kleinerer Blasen, welche eine schon fester gewordene Masse durchdrangen, die durch Zusammenfließen wenig mehr verändert werden konnte."

Es kommen indessen auf dem Mond auch Gebirgsmassen vor, welche mehr irdischen Gebirgen gleichen, wie den Alpen und Anden, übrigens fehlen die Längenthäler ganz, welche ihren Ursprung der Thätigkeit des Wassers verdanken. Ohne alle irdische Aehnlichkeit sind aber wiederum die sogenannten Rillen des Mondes, lange und schmale, gewöhnlich vollkommen gerade, zum Theil auch gekrümmte Vertiefungen, die sich von 2 bis 30 Meilen erstrecken, zuweilen durch kleine Krater gehen, oder nahe daran vorbei; daß sie beträchtliche Vertiefungen sind, das zeigt der in ihr Inneres fallende Schatten ihrer Ränder. Man darf so wenig an Flüsse als an Kanäle dabei denken; eher möchte man auf Risse rathen, welche die Mondrinde lange nach Entstehung der Wälle, wo sie noch halbflüssig gewesen sein mag, bei fortgehender Erkaltung erlitten haben könnte.

Man findet auffallende Verschiedenheiten der Lichtstärke in verschiedenen Gegenden des Monds; man nimmt selbst mit bloßen Augen große dunkle Stellen auf glänzenderem Grunde wahr, die sogenannten Meere der älteren Karten. Dieß könnten sie aber nach ihrem Aussehen nicht sein, auch wenn dem Mond überhaupt Luft und Wasser zukäme; denn ihre Oberfläche ist keineswegs gleichförmig und eben, sondern zeigt hellere und dunklere Stellen, Erhöhungen und Vertiefungen, namentlich auch Krater in Menge. Es ist keine Frage, daß es blos die größere oder geringere Fähigkeit der dasigen Stoffe ist, das Licht zurückzuwerfen, was diese Verschiedenheiten hervorbringt, die größere oder geringere Weiße der Mondgesteine. Jenen dunkelsten Stellen stehen durch alle möglichen Grade der Weiße

zuletzt die auffallend glänzenden Gebirgsgegenden gegenüber. Ueberhaupt erscheint wohl die Ebene im Allgemeinen weniger hell, indeß kommt auch vielen Gebirgen ein geringerer Grad von Helligkeit zu, zum deutlichen Beweis, daß die größere oder geringere Weiße nicht von der Form, sondern nur von der stofflichen Beschaffenheit der lichtzurückwerfenden Gegenstände herrührt. Besonders merkwürdig sind aber in dieser Beziehung noch die hellen, einige Meilen breiten Streifen, welche sich von gewissen Punkten ausgehend strahlenförmig über die Mondoberfläche verbreiten. Sie gehen insbesondere manchmal in sehr großer Anzahl (100) von Ringgebirgen aus, diese „nach Art eines Heiligenscheins“ umgebend, und auf Entfernungen von 30, 50 ja mehreren Hunderten von Meilen sich erstreckend, alles durchsetzend endlich, was sie in ihrer Richtung antreffen, Ebene, Gebirg oder Krater. Man hat sie für Bergadern gehalten, was sie aber nicht sein können, da sie nie einen Schatten werfen, noch können sie Lavaströme sein, da sie oft an den Bergwällen auf Tausende von Meilen in die Höhe gehen und alles durchsetzen. Eben deßhalb rechnet Bessel diese Erscheinung hieher, d. h. zu denen, die von stofflichen Verschiedenheiten herrühren, es sind wohl Gesteinsarten von bedeutender Weiße. Ihr Zusammenhang mit den Ringgebirgen ist durch ihr strahlenhaftes Ausgehen von denselben entschieden angedeutet, und dieß deutet wiederum darauf hin, daß diese Ringgebirge Mittelpunkte für die Bildung der Mondoberfläche gewesen sind, indem diese Strahlen den Zug der verschiedenartigen Materie des noch flüssigen Monds nach diesen Mittelpunkten hin bezeichnen, wo etwas Gährendes zum Ausbruch kam. Es würde, schließt Bessel diese Betrachtung, für unsere Geologen von höchstem Belang sein, durch einen größeren Ueberblick über die Erde zu erfahren, ob auch sie solche Streifen oder Strahlensysteme besitze.

Erwägen wir schließlich, daß auf dem Mond der zerstörende und verwitternde Einfluß von Luft und Wasser gänzlich fehlt, daß wegen desselben Mangels auch kaum an vulkanische Ausbrüche mehr gedacht werden darf, weil die etwaige innere Wärme ohne Wasser und Luft für die Oberfläche erfolglos blei-

den muß: so müssen wir den Zustand der Mondoberfläche für unveränderlich halten, gänzlich stereotyp geblieben seit dem Erstarren der Masse, höchstens daß die erstarrte Rinde hie und da geborsten sein möchte. Der Mond zeigt sich uns also noch im ersten Zustand seiner Erstarrung, Bessel sagt: ewig neu und frisch, nie alternd, ebenso gut können aber wir sagen: uralt, nie sich verjüngend. Hoch die lebendige Erde!

Das Thierkreislicht ist eine Lichterscheinung, die sich in Gestalt eines pyramidalisch vom Horizont aufsteigenden Streifens in unseren Gegenden nur im Frühling nach der Abenddämmerung und im Herbst vor der Morgendämmerung wenige Tage hindurch zeigt, leicht mit einem Kometenschweif verwechselbar, was z. B. 1843 hin und wieder geschah. Wegen seiner Schwäche in unseren Gegenden hat es erst in der Mitte des 17ten Jahrhunderts die Aufmerksamkeit der Physiker und Astronomen auf sich gezogen und ist gewissermaßen von Childrey und Cassini in Europa entdeckt worden. Ganz anders verhält es sich in den Tropen, wo es Monate lang bis zu einer Höhe von fast 40 Grad sichtbar ist und mit den hellsten Theilen der Milchstraße an Helligkeit wetteifert. Hierüber muß man die ebenso lehrreiche als anmuthige Beschreibung selbst nachsehen, welche Humboldt nach wiederholter Selbstanschauung davon entwirft. „Wer Jahre lang in der Palmenzone gelebt hat, dem bleibt eine liebliche Erinnerung von dem milden Glanze, mit dem das Thierkreislicht, pyramidal aufsteigend, einen Theil der immer gleich langen Tropennächte erleuchtet u. s. w." Aus der Richtung wie aus der Zeit seiner vollkommensten Sichtbarkeit folgt, daß das Licht nicht nur in der Erdregion oder zwischen der Venus- und Marsbahn, sondern auch in der Ebene des Sonnenäquators sich befindet oder wenigstens hier am stärksten leuchtet, als im Zustand der größten Verdichtung begriffen, während es wohl weiter nach beiden Seiten sich erstrecken mag. Wenn die Erde den Sonnenäquator durchschneidet, d. h. vor der Mitte Junis und Decembers, befindet sie sich ohne Zweifel in dem Thierkreislicht selbst, es ist aber dann natürlich unsichtbar, während es am besten sichtbar wird um die Zeiten, wo die Erde am meisten

($7^1/_2$ Grad) vom Sonnenäquator abweicht, d. h. um die Mitte des März und des Septembers.

Diese merkwürdige Erscheinung kann nicht die Sonnenatmosphäre selbst sein, wofür man es lange gehalten hat, indem man sich dieselbe in der Gleicherzone der Sonne sehr weit in linsenförmiger Abplattung sich erstreckend dachte. Dieß ist mit den Ergebnissen der Mechanik im Widerspruch, welche im vorigen Abschnitt in der Naturgeschichte der Sonne auseinander gesetzt worden sind, wornach die Sonnenatmospäre auch in der Gleicherzone kaum bis zur halben Merkursweite sich erstrecken kann, und man darf deßhalb auch gewiß der Sonne kein nebelsternartiges Aussehen zuschreiben, was manche Astronomen des Thierkreislichts wegen gethan haben; denn die wirkliche helle Sonnenatmosphäre ist viel zu beschränkt, und das Thierkreislicht ist viel zu schwach und ebenfalls noch auf einen zu kleinen Raum beschränkt. Ohne Zweifel liegt daher die Ursache der betreffenden Erscheinung in dem Vorhandensein eines Rings dunstartiger Materie, welcher in der Erdregion frei um die Sonne kreist nach den planetarischen Gesetzen, sehr abgeplattet ist und ohne Zweifel von der Sonne beleuchtet wird, etwa nach Art der Kometennebel. Er scheint in der Ausdehnung veränderlich zu sein, und manchmal weit über die Erdbahn hinaus, manchmal sich nur kaum bis zu ihr zu erstrecken; man kann aber darüber so wenig, wie über seine Abmessungen etwas Bestimmtes behaupten. Die Vermuthung, daß es durch die unzähligen Kometenausströmungen sich erhalten oder gar vergrößern möchte, müssen wir auf sich beruhen lassen, und der Annahme eines Zusammenhangs mit dem der Sonne zu mehr verdichteten Weltdunst möchten wir den Gedanken gegenüberstellen, daß auch in anderen Planetenregionen solche Nebelringe als Rückstände der Planetenbildung vorhanden sein könnten, von denen wir freilich nichts wahrnehmen, da der irdische Nebelring schon zu den minder auffallenden Himmelserscheinungen wenigstens für unsere Gegenden gehört.

Wir kommen endlich zu den letzten und kleinsten Massen, welche nach der jetzigen Ansicht planetarisch die Sonne umkrei-

sen, und auch hier kann natürlich nur von denjenigen Asteroiden die Rede sein, die in der Erdregion schwärmen und häufig mit der Erde wirklich zusammentreffen, zugleich die einzigen kosmischen Gegenstände, welche in unsere Hände kommen. Wir können hier kürzer darüber sein, da Humboldt selbst sie mit großer Ausführlichkeit behandelt, wie er es auch war, der jene einzig haltbare Ansicht begründete, indem er zuerst auf die entscheidende Thatsache der periodischen Sternschnuppen aufmerksam gemacht hat.

Die hieher gehörigen Erscheinungen, Sternschnupen, Feuerkugeln, Meteorsteine hatte man lange für eigentliche irdische Meteore oder auch, wenigstens die letztgenannten, für Mondauswürflinge gehalten, dergestalt, daß man ihnen geradezu den Namen „Mondsteine" geben wollte, wenn man nicht ganz an den „vom Himmel gefallenen Steinen" und an den „Steinregen" zweifelte, was früher wohl von vielen Physikern geschah. Man zweifelte nicht mehr daran, seitdem der Zusammenhang dieser Erscheinungen unter einander nachgewiesen war, seitdem man nämlich erkannt hatte, daß Feuerkugeln nur große Sternschnuppen, und daß die Meteorsteine nur die massigen Rückstände des Zerstörungsprocesses sind, dem die Asteroiden unterliegen, wenn sie mit der Erde und zwar zunächst mit ihrer Atmosphäre zusammengerathen. Sie entzünden sich dann, zerplatzen und lassen erhitzte steinartige Massen herabfallen; die Erhitzung macht sie leuchtend bei Nacht, man hat aber auch bei Tage wie aus einem kleinen Gewölke solche erhitzte Massen niederstürzen sehen. Wenn es im höchsten Grad unwahrscheinlich ist, daß durch irgend einen atmosphärischen Proceß solche zum Theil sehr beträchtliche Massen aus atomartiger Auflösung plötzlich sich herausballen sollten, so deutet die Messung ihrer Entfernungen und Geschwindigkeiten entschieden auf kosmischen Ursprung. Es sind planetarische Geschwindigkeiten, viel größer als alle irdischen Geschwindigkeiten, selbst mit Einschluß der Axendrehung. Durch gleichzeitige Beobachtungen von entfernten Standorten aus hat man nämlich die Parallaxen der Sternschnuppen gemessen und gefunden, daß ihre Höhe 4 bis 35

Meilen beträgt, woraus sich dann ferner ihre beziehungsweise Geschwindigkeit zu $4^1/_2$ bis 9 Meilen in der Sekunde ergab. Die Hypothese der Mondsteine aber scheiterte theils an der Ansicht, die wir uns vom Mond zu bilden genöthigt sind, welche vulkanische Ausbrüche ausschließt, wie wir gesehen haben, theils, nach der nunmehr gewonnenen Einsicht in ihren Zusammenhang mit den Sternschnuppen, an deren periodischer Erscheinung in ganzen Schwärmen.

Die Sternschnuppen fallen nämlich nicht nur vereinzelt, sondern auch schwarmweise, und diese Sternschnuppenschwärme kehren periodisch wieder. Die periodische Wiederkehr hat sich bis jetzt besonders an dem Novemberschwarm (12.—14. Nov.) und an dem Augustschwarm (am Laurentiustag 10. August) herausgestellt. In den genannten Novembertagen wurden über große Erdstriche hin zahllose Sternschnuppen der verschiedensten Größe gesehen; im Jahr 1833 zählte man in Nordamerika in wenigen Stunden über zwei Hunderttausende, und gerade dieses Ereigniß brachte Humboldt auf den Gedanken eines periodischen kosmischen Ereignisses, was sich seitdem durch wiederholte Beobachtung entschieden herausgestellt hat, obgleich die Menge nicht in jedem Jahr gleich war, noch über einen gleich großen Erdraum verbreitet. Eben so regelmäßig ist der Strom des Laurentius beobachtet worden, und Humboldt vermuthet, daß man noch andere periodisch wiederkehrende Ströme entdecken werde, vielleicht um den 22.—25. April wie zwischen dem 6. und 12. Dec. Besonders bedeutsam war bei der Beobachtung dieser Schwärme oder Ströme von Sternschnuppen, daß die Bahnen der einzelnen Körper, die man beobachtet und auf einer Sternkarte eingetragen hatte, gleichlaufend auf Eine Gegend des Himmels hinweisen, aus der sie herkamen, der Richtung der Erde entgegen, was sich stundenlang und selbst tagelang gleichblieb, während jene Gegend wegen der Axendrehung allmälig in andere Lagen gegen den Horizont der Beobachter kam.

Welche andere Vorstellung kann man sich hiernach von diesen Asteroidenschwärmen machen, als daß sie entweder sich rückläufig um die Sonne in Bahnen bewegen, welche die Erdbahn

schneiden, oder daß sie gar geschlossene Ringe bilden, welche von Ost nach West um die Sonne kreisen und die Erdbahn schneiden? Im ersten Fall würde die periodische Wiederkehr an denselben Jahrestagen voraussetzen, daß der Schwarm seinen Umlauf genau oder sehr nahe in derselben Zeit vollendet, wie die Erde. Im zweiten Fall könnte die Umschwungzeit des Rings jede beliebige sein, so lange derselbe die Erdbahn an denselben Punkten durchschneidet. Da einer der periodischen Ströme, der im November, in der Regel 2 bis 3 Tage dauert, so muß die Erde so lange brauchen, um ihn zu durchsetzen, woraus bei der einen oder anderen Ansicht auf eine Mächtigkeit des Schwarms von 600 bis 700 Tausend Meilen zu schließen ist, und hieraus (auch wenn es blos ein vereinzelter Schwarm ist) auf viele Millionen einzelner Asteroiden. Da im einen wie im anderen Fall ein solcher Schwarm dunkler Körper zwischen die Erde und Sonne zu stehen kommen kann, so hat man eigenthümliche Verdunklungen der Sonnenscheibe aus vorüberziehenden Asteroidenschwärmen erklären wollen, sowie auch die auffallende Kälte gewisser Jahrestage, namentlich der berüchtigten Maitage, welche gerade um ein halbes Jahr von jenen Novembertagen abstehen. Indeß ist hier noch vieles weit entfernt, als Thatsache betrachtet werden zu können, und insbesondere dürfte die letzterwähnte Beiziehung der Asteroiden zur Wetterfrage mit Grund bezweifelt werden. Ebenso dürfte es schwer sein, zwischen den beiden Ansichten von vereinzelten Schwärmen oder von gefüllten Ringen zu entscheiden; doch scheint ein Umstand mehr für das letztere zu sprechen, nämlich die Ungleichheit der beiden periodischen Ströme, zumal des Novemberstroms in verschiedenen Jahren. Dieß erklärt sich in der That vortrefflich, wenn die Erde von Jahr zu Jahr mit verschiedenen Theilen des Rings zusammenträfe, welche verschiedene Mächtigkeit haben. Ja es wäre dann wieder eine (periodische) Wiederkehr der außerordentlichen Sternschnuppenfälle, wie die von 1799 und 1833, nach längeren Zeiten zu erwarten, und Olbers hat wirklich gewagt, „die große Erscheinung, wo Sternschnuppen mit Feuerkugeln gemischt, wie Schneeflocken fielen,“ auf 1867 voraus zu verkündigen.

Darf es uns wundern, wenn wir in den Asteroiden der Erdregion die irdischen Elemente wieder finden? Die chemischen Analysen der Meteormassen haben ungefähr den dritten Theil unserer sogenannten Elemente, 8 Metalle (Eisen und die eisenartigen Nickel, Kobalt, Mangan, ferner Kupfer Zinn, Chrom und Arsenik), 5 Erdarten sammt Kali und Natron, ferner Schwefel, Phosphor und Kohle als Bestandtheile der kosmischen Ankömmlinge dargethan. Das Gasartige und leicht Verflüchtigbare, was die Sternschnuppen und Feuerkugeln enthalten mögen, geht natürlich bei dem Verbrennungsproceß in der Atmosphäre durch, den wir schon erwähnt haben. Sie zeigen indeß, wie Humboldt sagt, in der Art der Zusammensetzung jener Bestandtheile etwas Fremdartiges, unähnlich den irdischen Felsarten; namentlich soll ihnen das fast in allen eingesprengte, gediegene Eisen einen eigenthümlichen Charakter geben. Ueberhaupt spielt dieses auf Erden verbreitetste Metall eine so bedeutende Rolle in der Zusammensetzung der Meteormassen, daß man sie überhaupt in zwei Klassen, nickelhaltiges Meteoreisen und körnige Meteorsteine eintheilt. Eine kennzeichnende Eigenthümlichkeit ist auch die nicht sehr dicke, oft pechartig glänzende, bisweilen geäderte Rinde der Aerolithen. Endlich ist fast immer der eigenthümliche Charakter eines Fragments vorhanden, oft eine prismatoidische oder verschobene Pyramidalform mit breiten, etwas gebogenen Flächen und abgerundeten Ecken, und Humboldt fragt: woher aber diese Form eines abgesonderten Stücks in einem kreisenden planetarischen Körper?

Auch hier also in den uns am nächsten kommenden kosmischen Körpern, den Miniatur-Weltkörpern ohne Individualität, mit welchen wir die Naturgeschichte des Himmels schließen, treffen wir kaum weniger des Räthselhaften, als in jenen durch maßlose Räume unnahbar getrennten fernsten Nebelflecken, mit denen wir die Naturgeschichte des Himmels begonnen haben. Am wenigsten aber darf uns das Vorhandensein solcher „Proletarier des Sonnensystems“ befremden, wenn wir auf die Vorstellungen zurückblicken, welche wir im vorigen Abschnitt vom Ursprung des

Sonnensystems uns zu bilden genöthigt waren; und wir wiederholen es, daß das Vorhandensein solcher Asteroiden in nicht minder beträchtlicher Menge auch in anderen Regionen des Sonnensystems uns überaus wahrscheinlich ist. Ja, das ganze Sonnensystem mag voll von diesen Abfällen der Planetenbildung sein, diesen „Weltspähnen," und wenn sie sich zeitweise in einem „kosmischen Hagel" auf unsere Erde entladen, wie vielmehr mag dieß bei dem mächtigen Körper der Fall sein, auf den sich die Bewegung Aller bezieht? Denn da der Widerstand des Aethers ihre Entfernungen von der Sonne allmälig mehr und mehr verkürzen dürfte, so läßt sich für jeden Schwarm, in welcher Region er zur Zeit sich herumtreiben mag, eine Zeit denken, nach welcher er mit ungeheurer Geschwindigkeit zur Sonne niederstürzt, wenn er nicht vorher von einem Planeten aufgefangen worden ist. Man hat neuerdings hierauf eine kühne aber scharfsinnige Hypothese über die Erhaltung des Sonnenbrandes gegründet. Wenn sich nämlich die Asteroiden schon beim Zusammentreffen mit der Erde so beträchtlich erhitzen, daß sie selbstleuchtend werden, wie viel mehr mag dieß bei den ungleich größeren Geschwindigkeiten der Fall sein, mit denen sie zuletzt auf die Sonne stürzen müssen? Wie also, wenn seit Jahrtausenden durch einen fortwährenden Asteroidenhagel das Flammenmeer der Sonne so zu sagen unterhalten würde, und die Sonnenstrahlung erst dann ihrer Selbsterschöpfung entgegenginge, bis all die zerstreute Materie des Systems in den Schwerpunkt desselben sich zurückgezogen hätte? Freilich sind manche bedeutende Einwürfe gegen diese Vorstellung vorhanden, und wir bleiben bei unserem Nichtwissen von der Natur der Sonnenstrahlung, welches wir im vorigen Abschnitt ausgesprochen haben, aber es schien uns der Mühe werth, auf dieselbe aufmerksam zu machen, sowie auf die neue Schrift „Beiträge zur Dynamik des Himmels von Dr. Mayer, Heilbronn 1848", wo sie mit anderen scharfsinnigen Vermuthungen sich ausgesprochen findet, worunter eine auch ist, daß das Thierkreislicht aus Asteroiden bestehen möchte.

Verbesserungen.

Seite	16	Zeile	16	v. u.	lies	Kleinen statt Kleinern
„	20	„	12	v. u.	„	zurückzubleiben st. zurückbleiben
„	43	„	17	v. o.	„	100000 st. 200000
„	52	„	5	v. o.	„	31 st. 30
„	60	„	10	v. u	„	nach innen st. noch immer
„	63	„	12	v. u.	„	denjenigen st. derjenigen
„	64	„	14	v. u.	„	nur st. um
„	74	„	13	v. u.	„	10½ st. 11½
„	76	„	10	v. u. u. ff.	lies	24000, 576, 1600 st. 23000, 529, 1500
„	81	„	13	v. u.	lies	41 st. 42
„	83	„	18	v. o.	„	über 130 st. dritthalbhundert
„	90	„	10	v. o.	„	deren Entfernungen st. welche
„	122	„	8	v. u. u. ff.	lies	4, 5⅓, 2, über 12 st. 8, 13, 3, etliche u. 30
„	148	„	8	v. o.	lies	6 st. 12
„	154	„	5	v. o.	„	Gleicherzone st. Gleichenzone
„	155	„	16	v. o.	„	Systeme st. Systemen
„	157	„	10	v. u.	„	Uranusbeobachtungen st. Voransbeobachtungen
„	165	„	12	v. u.	„	merkliches st. wirkliches.

Kosmos



für Schulen und Laien.

Gemeinfaßlicher Abriß

der physischen Weltbeschreibung

nach

Alexander von Humboldts Gesichtspunkten

von

Dr. K. G. Reuschle,

Professor der Mathematik und Geographie zu Stuttgart.

Zweiter Theil.

Die Erde.

Stuttgart.

Hallberger'sche Verlagshandlung.

1848.

Inhalt.

Drittes Buch.

Das Innere der Erde im Verkehr mit der Oberfläche und die tellurischen Bildungshergänge.

Viertes Buch.

Die jetzige Erdoberfläche.

Vorwort.

Alexander von Humboldt, der größte Mann unseres Jahrhunderts in der Gesammtnaturkunde, welcher mehr von der Natur gesehen hat, als andere gelesen, und mehr entdeckt, als andere gesehen haben, hat in seinem Kosmos das Wissenswürdigste aus dem Gebiet seines Forschens in einen neuen Inbegriff zusammengefaßt und von dem Standpunkt einer umfassenden Weltanschauung aus in einem gedrängten Naturgemälde dargestellt. In dem Interesse des Gegenstands gleichsehr wie in dem Geist der Darstellung liegt der Reiz, welcher alle Gebildeten zu jenem Werk hinzieht. Allein die meisten Leser finden darin zuviel vorausgesetzt, oft steckt in einer kurzen Anspielung ein ganzes physikalisches Lehrstück; wir nennen beispielsweise nur die Anspielungen auf die neueren Entdeckungen in den Gebieten von Elektrizität und Magnetismus bei Gelegenheit des Erd-Magnetismus.

Dieser Umstand hat den Verfasser der vorliegenden Schrift auf den Gedanken gebracht, durch dieselbe der Verbreitung jenes wahrhaft zum Gemeingut bestimmten Inbegriffs von Kenntnissen neuen Vorschub zu leisten. Sie will keineswegs ein eigentlicher Commentar sein, vielmehr sucht unser Kosmos in eigener Darstellung die Lücken auszufüllen, welche der den Quellen ferner stehende Leser in dem Humboldtschen Werk findet, vornehmlich durch gelegentliche, übrigens, wie wir hoffen, organisch verwobene

Streifzüge in die Gebiete der Hilfskenntnisse (Physik, Mechanik, Chemie), aber auch durch eine sorgfältige Ausmessung und Gliederung des überreichen Stoffs. Gar nichts vorauszusetzen ist unmöglich, zumal wo es sich um eigene Anschauung im Laboratorium oder im physikalischen Atlas handelt.

In wie weit jenes dem Verfasser gelungen, überläßt er dem Urtheil des Publikums. Nicht unterlassen aber darf er die Nennung der Schriften, welche er (versteht sich außer dem Werk des Meisters selbst) vorzugsweise benützt hat. In erster Linie stehen hier, oft mit wörtlicher Anführung, Bessels Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände (Hamburg 1848) und Studers Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie (Bern 1844 und 1847). In zweiter Linie nennen wir noch ein Werkchen von ähnlicher zusammenfassender Art, wie das unsrige, aber von gänzlich anderer Absicht und Haltung, nämlich Schödlers Buch der Natur, und empfehlen dasselbe auch solchen Lesern, welche über das Naturgeschichtliche im engeren Sinn mehreres wünschen, als unser Kosmos bieten konnte. Denn unsere Absicht gieng nicht sowohl auf ein umfassendes Handbuch, vielmehr auf einen gedrängten Leitfaden; auch gestehen wir gerne, daß nicht alle Gerichte der reich besetzten Tafel aus eigenster Küche sind, schmeicheln uns aber auch, daß viele darunter eine ebenso eigenthümliche als schmackhafte Zubereitung erfahren haben.

Stuttgart im Oktober 1848.

Der Verfasser.

Zweiter Theil.

Die Erde.

Drittes und viertes Buch des Kosmos.

Drittes Buch.

Das Innere der Erde im Verkehr mit der Oberfläche und die tellurischen Bildungshergänge.

IX. **Der Erdkörper ein Sitz eigenthümlicher Polarkräfte.** — Erdrinde und Erdkern; Kräfte, welche über das Innere Auskunft geben, darunter der Erdmagnetismus (?); die irdischen Polarkräfte und die chemische Verwandtschaft. — Magnetismus und Elektrizität; verschiedene Formen der Elektrizität (Reibungselektrizität, Galvanismus), ihr Zusammenhang mit chemischen und thermischen Verhältnissen (Elektrochemie, Thermoelektrizität), ihr Wechselverhältniß mit dem Magnetismus (Elektromagnetismus, Magnetelektrizität). — Der Erdmagnetismus und das Polarlicht; geographische Verschiedenheiten in den Aeußerungen der magnetischen Kraft der Erde, zeitliche Veränderungen ihres magnetischen Zustands, barsche Störungen desselben im Zusammenhang mit Meteoren, die verwickelte und zweideutige Natur des großen Erdmagneten.

X. **Das Erdinnere ein Heerd eigener Wärme.** — Eigenes Licht und eigene Wärme der Erde. — Ursachen und Wirkungen der Wärme überhaupt; Aenderung von Dichte und Zusammenhalt, Eigenwärme und gebundene Wärme, Wärmeleitung und Wärmestrahlung, mechanische und chemische Wärmeentwicklung; Wesen der Wärme, ihr Zusammenhang mit Licht und Elektrizität, die sogenannten Imponderabilien überhaupt und der Aether, das vorgebliche unsichtbare Licht und der seinsollende Umsatz von Bewegung in Wärme. — Die innere Erdwärme und das Erkalten der Erde; Wärmezunahme nach innen (Chthonisothermen) und zweifelhafter Zustand des Erdinneren; Spuren einer früheren hohen Temperatur des ganzen Erdkörpers und dessen allmäliger Uebergang aus dem verflüchtigten in den feuerflüssigen, aus diesem in den starren Zustand; große Beständigkeit des jetzigen Wärmestands und die Unveränderlichkeit des Sterntags.

XI. **Die Erdfläche ein Schauplatz plutonisch-vulkanischer und jovisch-neptunischer Hergänge.** — Wirkungen von innen nach außen und von außen nach innen; Wechselwirkung der geologischen Hergänge, Rückschluß von den laufenden Erscheinungen auf die der Vorwelt. — Das unterirdische Wasser und die vulkanischen Erscheinungen; der Kreislauf des Wassers, Quellen, insbesondere mineralische und warme (Thermen und Geyser); Gasausströmungen (Mofetten, Solfataren u. a.) und Schlammergießungen (Salsen); Vulkane (ihre Ausbruchkrater und Aufschüttungskegel, Gase und Laven) und Erdbeben, Vulkanzonen und Erschütterungskreise. — Ablagerung und Ausrodung (Sediment und Erosion). Wirksamkeit von Wind und Wetter, Wasser und Eis, Pflanzen und Thieren; Ablagerung stehender und bewegter Gewässer, Strandbildungen, Flußgeschiebe, erratische Blöcke; Thalbildung, Höhlenbildung, Durchbrüche und Einbrüche; Verwitterung an der Luft und Vermoderung (Verkohlung) unter Wasser; Gletscher und Infusorien als geologische Mächte. — Hebung und Senkung; langsames Steigen und Sinken des Bodens, jähe Aufwürfe und Einstürze; Bergkuppen, Erhebungskrater und andere Erscheinungen, welche den vulkanischen zunächst stehen; Krümmung und Verschiebung der Schichten, Gangbildungen.

XII. **Die Erdrinde ein Gefüge mannigfaltiger Gebilde aus entlegenen Epochen.** — Die chemischen Grundstoffe und das Mineralreich; natürliche Klassen der jetzigen Elemente, einfache Mineralien, das chemische Mineralsystem. — Die Felsarten oder Gesteine und ihre Entstehung; gleichartige und ungleichartige Gesteine (mineralogische Eintheilung); Ausbruch-, Absatz-, Wandlungs-, Trümmergestein (geologische Eintheilung), der plutonische Metamorphismus. — Die geognostischen Gebilde und die Geschichte der Erde; Wasser- und Feuergebilde, Ur-, Uebergangs-, Flötzgebirge u. s. w.; Altersfolge der Gebilde, ihre Versteinerungen und Mineralien; Schlüsse auf die zu Grund liegende Folge von Umwälzungen (Ausbrüche und Fluthen), die allmälige Bildung vielgestaltiger Gebirgssysteme und zusammenhängender Landstriche.

IX.

Der Erdkörper ein Sitz eigenthümlicher Polarkräfte.

Es gilt in diesem Buch des Kosmos vornehmlich, die irdischen Kräfte und die erdbildenden Hergänge kennen zu lernen, durch welche die Erdoberfläche geworden ist, was sie jetzt ist. Die noch jetzt vor sich gehenden Veränderungen derselben, von denen wir auf die Geschichte der Erde zurückschließen, führten uns unabweislich in das Innere der Erde, aber freilich sind die unterirdischen Räume der unmittelbaren Anschauung so unnahbar, wie die himmlischen, von welchen wir herkommen. Unsere Erfahrungen reichen nur in sehr geringe Tiefen, und der dünnen, uns wirklich erschlossenen Erdrinde steht der größte Theil des Planeten als der unzugängliche Erdkern gegenüber, über welchen blos Schlüsse ein zweideutiges Licht vermitteln können. Die tiefsten Gruben, mit welchen man in die feste Erdrinde eingedrungen ist, reichen kaum über 2000 Fuß unter die Meeresfläche, was weniger als den 9000sten Theil vom Halbmesser der Erde ausmacht. Welch große Strecken des Festlands sind überdieß noch gar nicht aufgewühlt worden, und in noch ungleich mächtigeren Räumen, in den vom Wasser bedeckten Höhlungen des festen Erdbodens kennt man noch nicht einmal dessen Außenseite. Wohl kann man hin und wieder durch geognostische Schlüsse mit derselben Sicherheit noch tiefer eindringen; manche Gebilde, wie Steinkohlenlager, gestatten ein sicheres Ermessen ihrer Mächtigkeit, so daß wir an solchen Stellen auf 5 bis 6 Tausend Fuß über die Natur der Erdrinde im Klaren sind, weil so tief (ja manchmal wohl auf die doppelte Tiefe, fügt Humboldt hinzu) jene Lager muldenförmig sich einsenken

müssen. Hält man also die höchste Annahme über solche unterirdische Mulden, d. h. etwa eine halbe Meile fest, so hat man doch erst den 1720sten Theil des Erdhalbmessers für die tiefste Tiefe der Erdrinde unter dem Meeresspiegel, welche wir (stellenweise) zugänglich nennen können, und wenn dagegen die höchsten Erhebungen der Erdrinde über den Meeresspiegel etwas mehr als eine Meile betragen (in den ebenso vereinzelten höchsten Berggipfeln), so erhalten wir eine Dicke unserer Erdrinde von über 1½ Meilen, welche immer noch kaum der 500ste Theil des Halbmessers und überdieß nach den sehr vereinzelten Aeußersten bemessen ist.

„Was unter dem Seespiegel tiefer liegt, als jene Mulden, ist uns fast ebenso unbekannt, wie das Innere der anderen Planeten“; nur spärliche Vulkanausbrüche führen jetzt noch Gesteinsmassen aus unbestimmbaren Tiefen herauf (immer noch zwar gering gegen den Erdhalbmesser, aber doch mindestens 60mal größer als die Tiefen, bis zu denen der Mensch eingedrungen ist), und nur wenig Weiteres gibt uns das Walten kosmischer und tellurischer Kräfte an die Hand. Was aber Schwere und Schwungkraft über das Innere der Erde lehren, das wissen wir ebensogut von unseren Mitplaneten, wie wir gesehen haben. Es ist die Einsicht in die nach innen zunehmende Dichte und die Kenntniß der mittleren Dichte selbst; das Gesetz, wornach die Dichte zunimmt, ist uns unbekannt, und der Schluß auf die innerste Dichte, den wir im zweiten Abschnitt unter gewissen Voraussetzungen gewagt haben, ermangelt eben deßhalb hinreichender Sicherheit. Außer dieser allgemeinsten Kenntniß vom Erdinneren, welche schon die früher betrachteten Kräfte uns gewähren, kann man weiteren Aufschluß hauptsächlich noch von zwei Wirkungsgebieten erwarten, von der Wärme und dem Magnetismus der Erde. Was die erstere betrifft, von der wir im nächsten Abschnitt weiter handeln, so ist eben schon die Wahrheit, daß das Innere der Erde ein Heerd eigener Wärme sein müsse, ein namhafter Aufschluß, allein die weiteren Folgerungen daraus über die unterirdischen Zustände verwickeln sich bald in physikalische Schwierigkeiten;

hat man ja doch selbst jenen Satz von der eigenen inneren Erdwärme (vom sogenannten unterirdischen Feuer) anfechten zu müssen geglaubt. Noch unsicherer sind die Schlüsse vom Erdmagnetismus aus; denn eben seitdem man die elektrischen und magnetischen Kräfte der Erde näher kennen gelernt hat, ist der „(vorherrschend) eiserne Erdkern oder der wirkliche innerirdische große Magnet, auf den die Magnetnadel schließen lasse", nur eine Erklärung unter Erklärungen geworden, ja es ist selbst zweifelhaft, was Göthe sagt: „dem starren Erdkörper hat die Natur einen Vertrauten zugegeben, ein Metall, an dessen kleinsten Theilen wir dasjenige, was in der ganzen Masse vorgeht, gewahr werden sollten", zweifelhaft nämlich, ob es wirklich die ganze Masse ist oder nur ein oberflächlicher Theil, mit dem wir durch die Magnetnadel in Beziehung stehen.

Dürfen wir uns nun auch vom Erdmagnetismus keine namhaften Aufschlüsse über das Erdinnere versprechen, so gehört er doch zu den wie geheimnißvollsten, so bezeichnendsten Eigenschaften, die dem Erdkörper überhaupt zukommen, deren Sitz wir aber sozusagen nicht näher bestimmen können. Wir eröffnen daher die besondere Naturgeschichte unseres Planeten mit der Erwägung der schon unserem Kepler bekannten Thatsache, „daß die Erde selbst nichts anderes als ein großer Magnet sei", d. h. werden wir erläutern, so wirke, wie wenn sie ein Magnet wäre. Allerdings haben wir in der Geschichte der Kometen bereits von kosmischen Polarkräften sprechen müssen, aber wir konnten deren Wesen nicht näher bestimmen. Erst die Erde zeigt sich als ein Sitz polarer Naturkräfte, deren Wesen wir genauer angeben und ergründen können, und deßwegen rechnen wir den Magnetismus unbedenklich zu den eigenthümlich irdischen Kräften. Er ist aber keineswegs die einzige Polarkraft, welche die Erde besitzt, die andere ist die Elektrizität; andererseits aber stehen nach den Erfahrungen unseres Jahrhunderts beide in solcher Verwandtschaft und Wechselwirkung, daß sie heutzutage als Aeußerungen einer und derselben Naturkraft gelten müssen, so gut wie die verschiedenen Artungen der Elektrizität. Um so mehr müssen wir

uns von den verschiedenen Aeußerungen der Einen irdischen Polarkraft, sowie von der zwischen denselben bestehenden Wechselwirkung Rechenschaft geben, ehe wir den Erdmagnetismus selbst und was mit ihm von irdischen Erscheinungen zusammenhängt in weitere Betrachtung ziehen.

Wenn Kräfte, wie die Schwere, blos durch Anziehung, durch Näherung und Vereinigung der Körpertheile, sowie andere Kräfte, wie die Wärme, blos durch Abstoßung, durch Entfernung und Trennung der Körpertheile sich kund geben: so gibt es auch Kräfte, welche sich ebensowohl durch Anziehung als durch Abstoßung äußern, und dieß sind die polaren Naturkräfte. Wo sie immer in Wirksamkeit treten, da entsteht ein Gegensatz im Verhalten zu Anderem, wo die Polarkraft ebenfalls erregt ist, und dieß geht nach einem allgemeinen Gesetz der Polarität vor sich, welches darin besteht, daß Gleichartiges sich abstößt, Ungleichartiges sich anzieht. Wir erkennen eben an dem Erfolg von Anziehung oder Abstoßung zwischen zwei magnetischen (elektrischen) Körpern, ob sie ungleichartig oder gleichartig magnetisirt (elektrisirt) sind. Beide Anziehungen übrigens und gleicherweise die Abstoßungen befolgen das Gesetz vom umgekehrten Quadrat der Entfernung, wie man thatsächlich nachgewiesen hat, aber auch im Voraus erwarten wird nach dem, was schon im ersten Abschnitt über die anziehenden Kräfte, überhaupt über die Wirkungen in die Ferne gesagt worden ist.

Das Polaritätsgesetz erinnert so sehr an das Gesetz der chemischen Verwandtschaft, daß wir nicht umhin können, einen kleinen Streifzug in die Chemie einzuflechten, zumal da die chemischen Hergänge mit den elektrischen in mannigfacher Verbindung stehen. Die chemische Verwandtschaft zweier Stoffe oder ihr Bestreben, sich zu einem dritten Stoff zu verbinden, ist nämlich um so größer, und dieser dritte Stoff ist den beiden um so unähnlicher, je entgegengesetzter die beiden Stoffe sind, und diese entgegengesetzten Eigenschaften gleichen sich eben in dem dritten entstehenden Stoff mehr oder weniger aus. Am entschiedensten tritt aber der chemische Gegensatz unter den ein-

fachsten Stoffen, den jetzigen Elementen (Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor, Schwefel; Metalle) hervor, dergestalt daß auf der ersten Stufe der chemischen Verbindung, d. h. derjenigen zweier entgegengesetzter Grundstoffe, der Gegensatz sich meistens noch nicht ausgleicht, sondern wieder ein entschiedener Stoff entsteht, sei es eine Säure (z. B. aus Sauerstoff und Schwefel) oder eine Base (z. B. aus Sauerstoff und Eisen), unter welchen wieder die entschiedensten die Laugen (Alkalien, z. B. Natron aus Sauerstoff und Natronmetall) sind; indeß entstehen auch schon auf der ersten Stufe der chemischen Verbindungen unentschiedene (neutrale) Stoffe (z. B. Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff, Kochsalz aus Chlor und Natronmetall). Dagegen tritt die Ausgleichung (Neutralisirung) sofort meistens auf der zweiten Stufe der chemischen Verbindung, d. h. der Verbindung der Säuren mit den Basen zu Salzen, ein, dergestalt daß Regel und Ausnahme in Vergleichung mit der ersten Stufe sich vertauscht; denn allerdings gibt es neben vollkommen neutralen Salzen auch saure und basische Salze, bei denen der Gegensatz noch nicht völlig ausgeglichen ist, was dann erst auf einer dritten Stufe der chemischen Verbindung in Doppelsalzen erfolgt. Auf der anderen Seite zeigen Stoffe ähnlicher Natur, in welchen der chemische Gegensatz nur in geringem Grade vorhanden ist, selbst schon unter den Grundstoffen auch einen geringen Grad von Verwandtschaft, sie verhalten sich gleichgiltig gegen einander, und wenn sie überhaupt noch Verbindungen eingehen, so zeigt der dritte Stoff keine wesentlich neue Eigenschaften, sondern nähert sich mehr oder weniger einem blosen Gemenge (z. B. Metalllegirungen).

Der Unterschied zwischen diesen beiden Fällen kennzeichnet sich aber noch weiter durch folgende Gesetze und Thatsachen. Wenn zwei ähnliche Stoffe zu einem dritten ähnlichen mehr sich mengen als gegensatzausgleichend verbinden, so kann dieß in beliebigen Verhältnissen der Menge geschehen; wenn aber durch eine eigentliche chemische Verbindung (im strengen Sinn) zwei entgegengesetzte Stoffe zu einem dritten sich ausgleichen, so geschieht dieß stets unter bestimmten Verhältnissen der Menge

(die chemischen Mischungsgewichte oder Atomgewichte, so genannt weil jene Verhältnisse eben auf die kleinsten und letzten Theile, die Atome, sich beziehen müssen, welche im chemischen Prozeß zusammen- oder auseinandertreten). Dazu kommen noch die beiden folgenden Gesetze, einmal daß das Atomgewicht, in welchem sich ein Stoff mit einem bestimmten anderen verbindet, dasselbe bleibt bei seinen Verbindungen mit den übrigen (und in dieser Beziehung heißen die chemischen Verhältnißzahlen auch Aequivalente), alsdann daß wenn, was häufig der Fall ist, ein Stoff mit einem anderen in mehreren Verhältnissen zu ebensovielen verschiedenen (aber mehr oder weniger ähnlichen) Stoffen sich verbindet, die verschiedenen Verhältnißzahlen Vielfache der niedrigsten sind (d. h. das 2fache, 3fache, 4fache u. s. w. oder das 1½fache, 2fache, 2½fache u. s. w.). Diese merkwürdigen Gesetze, welche eben die chemische Atomlehre so sehr unterstützen, treten wieder besonders bei den Grundstoffen, in welchen sozusagen die chemische Wirksamkeit noch am frischesten ist, hervor. Bei dem Sauerstoff, welcher unter allen Grundstoffen die mannigfaltigsten Verbindungen eingeht, führen die verschiedenen Stufen, in welchen diese Verbindungen vor sich gehen (Oxydationsstufen), verschiedene Namen, nämlich in der basischen Reihe: Unteroxyd, Oxydul, Oxyd, Ueberoxyd, in der Säurenreihe: Untersäurige, Säurige, Untersäure, Säure, Uebersäure; beim Schwefel z. B. kennt man die vier Säurestufen: Unterschwefelsäurige, Schwefelsäurige (wofür gewöhnlich schweflige Säure minder passend gesagt wird, es ist das wohlbekannte Gas, welches bei Verbrennung des Schwefels sich entwickelt), Unterschwefelsäure, Schwefelsäure (Vitriolöl); beim Mangan (Brausteinmetall) kennt man die fünf theils basischen, theils sauren Stufen: Manganoxydul, Manganoxyd, Manganüberoxyd, Mangansäure, Uebermangansäure. Nun bildet der Sauerstoff mit dem Wasserstoff Wasser in dem Gewichtsverhältniß von 8 : 1, dann folgt aus obigen Gesetzen, daß 8 auch die Grundverhältnißzahl des Sauerstoffs in seinen Schwefelverbindungen ist, und jene vier Säurungsstufen des Schwefels verhalten sich sofort so, daß auf 16 Gewichts-

theile Schwefel der Reihe nach 8, 16, 20, 24 (d. h. 1.8, 2.8, 2½.8, 3.8) Gewichtstheile Sauerstoff kommen. Damit mögen die Gesetze von den chemischen Verhältnissen klar sein.

Die Beziehung zwischen dem chemischen Gegensatz und der chemischen Verwandtschaft tritt endlich auch in den Erscheinungen hervor, welche den chemischen Prozeß begleiten. Die Wärmeentwicklung, welche bei der chemischen Verbindung stattfindet, ist um so beträchtlicher, je größer die Verwandtschaft, und steigert sich zu Lichterscheinungen (Brennen, Glühen) bei gehöriger Heftigkeit des Hergangs. Häufig tritt aber eine an sich große Verwandtschaft erst unter gewissen Umständen, nach Beseitigung gewisser Hindernisse hervor, z. B. die von Sauerstoff und Wasserstoff erst nach vorläufiger Temperaturerhöhung, die von Sauerstoff und Eisen eben dadurch oder auch durch Beseitigung des starren Zustands dieses Metalls, indem feinstes Eisenpulver an der Luft ohne Weiteres sich entzündet und oxydirt. Man könnte versuchen, die chemischen Stoffe, vor Allem die Grundstoffe nach dem Gegensatz zu ordnen, wie er in ihnen hervortritt, indem man diejenigen zu äußersten Gliedern einer Reihe machte, in welchen der chemische Gegensatz am entschiedensten sich zeigt, so daß die entgegengesetztesten am weitesten von einander entfernt, die ähnlichen je sich zunächst stünden. Allein es fragt sich sehr, ob eine solche Anordnung möglich ist, da die Verwandtschaften eigenthümlicher Art sind, so daß der eine Stoff mit diesem, der andere mit jenem im äußersten Gegensatz steht (Wahlverwandtschaften). Auch gibt die Untersuchung der Verwandtschaftsgrade durch solche Hergänge, wo ein Stoff einen zweiten aus dessen Verbindung mit einem dritten an sich zieht, nicht ganz unzweideutige Ergebnisse, z. B. Zink entreißt allerdings dem Wasser seinen Sauerstoff, aber erst bei hohem Hitzegrad oder unter Mitwirkung der Schwefelsäure, sofern deren große Verwandtschaft zu dem Zinkoxyd das Zink gleichsam nöthigt, auf Kosten des Wassers sich zu oxydiren. Wir haben übrigens weiter unten eine auf das Verhalten der Grundstoffe zu dem elektrischen Gegensatz sich gründende Reihenfolge zu erwähnen, die in der That einigermaßen jene Ver-

wandtschaftsreihe vertritt. Von den Grundstoffen selbst weiter zu sprechen, haben wir hier keinen Anlaß, wohl aber in einem der folgenden Abschnitte, weßhalb wir nun zu unseren Polarkräften zurückkehren, mit dem Magnetismus beginnend, wo die Polarität am einfachsten sich zeigt (zugleich mit dem Grund dieser Benennung).

An einem Eisenerz, dem Magneteisenstein (einer natürlichen Verbindung aus Eisenoxyd und Eisenoxydul) ist von Alters her eine besondere Anziehungskraft bekannt, welche dasselbe auf Eisen aller Art ausübt, wie auch nach neueren Erfahrungen auf das eisenverwandte Metall Nickel; gewöhnlich wird auch dem anderen an das Eisen sich nahe anschließenden Metall Kobalt die magnetische Eigenschaft zugeschrieben, aber von namhaften Chemikern in Abrede gestellt, wenn das Kobalt ganz rein sei; dem Mangan endlich kommt sie nur bei sehr niedriger Temperatur (weit unter Null) zu, und auch jene Metalle verlieren sie bei hohen Wärmegraden, Eisen erst in voller Glühhitze, Nickel schon früher. Unter dem Einfluß eines Magnets (zumal bei unmittelbarer Berührung) werden Stücke jener Metalle selbst magnetisch (reines Eisen augenblicklich) und verhalten sich wieder zu anderen Stücken als Magnete, aber nur so lange die Verbindung mit dem ursprünglichen Magnet besteht. Verbindungen des Eisens mit anderen Stoffen, namentlich mit Kohle in der Menge, wie sie der Stahl, deßgleichen mit Sauerstoff in der Menge, wie ihn der Magnetstein enthält, nehmen die magnetische Eigenschaft langsamer an, erst durch längere Verbindung mit einem bereits vorhandenen Magnet von gehöriger Stärke, behalten sie aber dann dauernd, auch wenn sie von der Quelle der Kraft getrennt werden. So entstehen die künstlichen Stahlmagnete, welche sich sofort in ihren Wirkungen verhalten wie die natürlichen Magnetsteine, und diese verdanken selbst ihre Kraft dem Erdmagnetismus, als der letzten Quelle aller natürlichen Magnete, wie denn auch ein Stück Stahl, ohne kunstgerecht mit einem anderen Magnet bestrichen zu werden, unter dem blosen Einfluß der magnetischen Kraft der Erde in gewissen Lagen zum Magnet wird.

Das Verhalten eines Magnets wird durch folgende Thatsachen näher bezeichnet, worin eben seine Polarität besteht. Ein wagrecht schwebender Magnetstab, Magnetnadel, welcher sich leicht um eine senkrechte Axe drehen kann, die durch ihren Schwerpunkt geht, bleibt keineswegs in jeder Lage stehen, wie es das Gleichgewichtsgesetz mit sich brächte, sondern richtet sich so, daß das eine Ende nach Norden, das andere nach Süden gekehrt ist, weßhalb man diese beiden, nach den Erdpolen hinweisenden Enden Pole des Magnets nennt, Nordpol das nach Norden, Südpol das nach Süden gekehrte Ende. Diese Grunderscheinung, welche wir übrigens weiterhin näher zu bestimmen haben, hat ebenso zur Erfindung des Schiffskompasses, wie zur Entdeckung des Erdmagnetismus geführt; es ist die magnetische Kraft der Erde, welche den Magnetstab richtet, die Erde wirkt hiebei wie ein großer Magnet, auf welchen die Magnetnadel gestellt würde. Denn, und dieß ist die zweite Haupterfahrung, zwei Magnete wirken so aufeinander, daß diejenigen Enden derselben, welche sich nach einerlei Weltgegend kehren, sich abstoßen, während die nach entgegengesetzten Weltgegenden gekehrten Enden sich anziehen (der Nordpol der einen den Südpol der anderen), oder das Gesetz der magnetischen Polarität besteht ganz einfach darin, daß die gleichnamigen Pole (Enden) zweier Magnete sich abstoßen, die ungleichnamigen aber sich anziehen. Wenn man daher eine Magnetnadel auf einem hinreichend starken Magnet und in hinreichender Nähe anbrächte (hinreichend nämlich, um den Einfluß der Erde gänzlich zu überwinden), so daß die Mitten beider Magnete sich senkrecht über einander befänden: so würde die Magnetnadel dem größeren Magnet sich parallel stellen, wobei der Nordpol der Nadel über den Südpol des Magnets (und umgekehrt) zu stehen käme. Hieraus aber entspringt eben die erste Vorstellung, die man sich von der Ursache der Süd-Nord-Richtung einer Magnetnadel zu bilden hat, daß nämlich die Erde wie ein Magnet wirkt, dessen einer Pol in der Nordgegend, der andere in der Südgegend sich befände; zugleich ergiebt sich, daß das nach Norden gekehrte Ende eines Magnets

dem Nordpol jenes Erdmagneten entgegengesetzt oder ungleichnamig sein muß (weßhalb auch die Franzosen jenes Ende den Südpol der Nadel nennen, als den mit dem irdischen Südpol gleichartigen Pol). Die dritte Wahrnehmung endlich besteht darin, daß die Anziehung eines Magnets auf unmagnetisches Eisen nicht in allen seinen Punkten gleich stark ist, sondern am stärksten an den beiden Polen, und von da an immer schwächer bis in die Mitte des Magnets, wo sich gar keine Kraft äußert (was man an einem in Eisenfeilspähne gelegten Magnet sieht, derselbe mag Stab- oder Hufeisenform haben).

Uebrigens läßt sich diese Erscheinung ebenfalls auf das Grundgesetz der Polarität zurückführen, woraus zugleich eine Vorstellung von dem Zustand eines magnetischen Körpers erwächst. Bedenkt man, daß jedes Stück eines Magnets, wie weit man die Theilung fortsetzt, wieder ein Magnet mit seinen zwei Polen ist — auch das igelförmige Aussehen der Pole eines in Eisenstaub getauchten Magnets zielt dahin, indem jene Stacheln aus dem Aneinanderhängen einzelner Körner, von denen nämlich jedes ein Magnet wird, mit ihren entgegengesetzten Polen entstehen — so wird man auf die Ansicht geleitet, daß jedes kleinste Theilchen eines Magnets selbst als ein solcher zu betrachten ist, daß alle diese magnetischen Elemente oder Atome ihre Pole nach einerlei Seite kehren, und daß die Wirkung eines magnetischen Körpers die Gesammtwirkung aller dieser Elementarmagnete ist. Da nun z. B. der Mitte eines gleichmäßigen Magnetstabs die Theilchen von der einen Seite ihre Nordpole und die auf der andern ebenmäßig ihre Südpole zukehren, deren Wirkung die der ersteren aufhebt, so kann in jener Mitte weder die eine noch die andere Polarität walten, mithin gar keine magnetische Wirkung erfolgen.

Die magnetische Kraft, welche sich somit durch die specifische Anziehung des Eisens, die bestimmte Richtung der Magnetnadel und die Polarität ausspricht, erscheint zunächst als eine eigenste Eigenschaft des Eisens, allein es wird sich nun zeigen, daß sie vielmehr „eine der vielfachen Formen ist, unter denen die Elektrizität sich offenbart“, zu welcher

jenes Metall nur eine eigenthümliche Beziehung hat. Wir versuchen es, in der Kürze die Grundzüge der Wahrnehmungen über diese vielgestaltige Naturkraft zu entwickeln, welche mit so Vielem im Zusammenhang steht und bei so vielerlei Anlässen erregt wird. Bekannt ist, daß man zuerst am Bernstein (dem Elektron der alten Griechen) die Eigenschaft wahrgenommen hat, daß er durch Reiben in einen Zustand versetzt wird, in welchem er hinreichend leichte Körperchen (übrigens ohne Unterschied des Stoffs) anzieht und nach der Berührung wieder abstößt. Deßhalb heißt dieser Zustand elektrisch, und ist dieß als die Grunderscheinung der Elektrizität anzusehen.

Es ist aber zur Zeit noch schwer, allgemeine Bestimmungen über die Elektrizität auszusagen, welche den verschiedenen Formen derselben gleicherweise zukommen, es giebt kaum noch eine allgemeine Theorie; was man in dieser Hinsicht behaupten kann, möchte auf folgende Sätze zurückkommen. Zur Erregung der Elektrizität wirken in der Regel zwei Körper zusammen, Körper von gänzlicher Stoffverschiedenheit (chemischem Gegensatz) bis zu bloßer Verschiedenheit des Zustands (z. B. nach Temperatur), deren Zusammenwirken ferner von bloßer Berührung bis zum chemischen Prozeß gehen kann. Wie aber immer Elektrizität erregt wird, so ist das Wesentliche daran, daß stets ein Gegensatz entsteht, ähnlich dem der Pole des Magnets, aber nicht an Einem Körper bilden sich Pole, sondern die beiden zusammenwirkenden Körper werden auf entgegengesetzte Art elektrisch oder verhalten sich wie solche Pole zu einander; man spricht deßhalb von entgegengesetzten Elektrizitäten (positiver und negativer) und drückt das Gesetz der elektrischen Polarität kurz so aus, daß entgegengesetzte Elektrizitäten sich anziehen, gleichartige sich abstoßen, und wenn gleiche Mengen positiver und negativer Elektrizität sich verbinden, so heben sie sich auf (neutralisiren sich). Die Fähigkeit des elektrischen Zustands kommt allen Stoffen zu, allein sie unterscheiden sich wesentlich, etwa wie unter den magnetischen Körpern metallisches Eisen und Nickel von Stahl und Magnetstein. In den Stoffen der einen Klasse

verbreitet sich die (ursprünglich erregte oder mitgetheilte) Elektrizität leicht und schnell von einem Punkt zum anderen; dieß sind die Leiter, worunter die Metalle, welche auch die besten Wärmeleiter sind, obenan stehen, zu denen ferner weit die meisten festen Körper gehören, aus denen die Erdrinde besteht (weßhalb auch der ganze Erdkörper als ein Leiter anzusehen ist), sowie die Flüssigkeiten (Oele jedoch in geringem Grad) und die halbfesten Bestandtheile der organischen Körper. In den Stoffen der anderen Klasse verbreitet sich dagegen die Elektrizität nicht von einem Punkt zum anderen; dieß sind die Nichtleiter, in welchen daher die Elektrizität sich ansammeln kann (ohne sich alsbald über die Erde zu verbreiten und dadurch zu verschwinden, wie bei den Leitern), und welche deßhalb auch dazu dienen, die Leiter zu isoliren oder von der Verbindung mit dem übrigen Erdkörper abzuschneiden (so daß man auch in ihnen Elektrizität erregen und ansammeln kann, die ihnen aber durch die bloße Berührung in einem einzigen Punkt ganz entzogen wird, während dieß bei den Nichtleitern blos im Berührungspunkt selbst geschieht); hieher gehören die (trockenen) Gase, die meisten spröden Körper, wie Glas, Schwefel, die Harze (die glas- und harzartigen Stoffe), Haare, Seide, Wolle. Uebrigens giebt es die mannigfaltigsten Abstufungen in dem Leitungsvermögen, von den schlechtweg guten Leitern durch die sogenannten Halbleiter (oder schlechten Leiter, z. B. trockenes Holz, Papier) bis zu den Nichtleitern, und man wird das Vorhandensein vollkommen guter Leiter wie völliger Nichtleiter (beides im strengsten Sinne) bezweifeln, so gut als man keinen vollkommen durchsichtigen, weder einen vollkommen weißen, noch vollkommen schwarzen Körper antreffen wird. Endlich kann man in neuester Zeit behaupten, daß die verschiedenen Formen, unter denen die Elektrizität sich zeigt, nicht nur in jenem obersten Gesetz der elektrischen Polarität übereinstimmen, sondern sich auch in den Wirkungen immer näher rücken, welche so mannigfaltig sind, wie die Ursachen, nämlich Wärme- (und Licht-) Entwicklungen, Nervenerschütterungen, chemische Hergänge, magnetische Erfolge.

Wo aber noch nicht ein oberstes Prinzip durchherrscht als ein gemeinschaftliches Band, das eine Mannigfaltigkeit von Thatsachen in ihrem wahren natürlichen Zusammenhang erscheinen läßt: da geht man am besten nach der geschichtlichen Folge zu Werk, in welcher jene Thatsachen bekannt geworden sind. Das erste ist in dieser Hinsicht die sogenannte Reibungselektrizität (Elektrizität im engeren Sinn), deren Gesetze überhaupt das Verhalten elektrischer Körper zu anderen sowie zu unelektrischen umfassen und in einem späteren Abschnitt eine Anwendung auf die Atmosphäre finden, deren „elektrische Ladung" immerhin eine andere Ursache hat, als Reibung zwischen festen Körpern, nämlich Verdunstung und Niederschlag. Die Grunderfahrung ist diese. Wenn irgend zwei Körper (Nichtleiter oder isolirte Leiter) an einander gerieben werden, so werden dieselben nach der Trennung entgegengesetzt elektrisch. Desgleichen nehmen verschiedene Nichtleiter durch Reibung entgegengesetzte Elektrizität an, namentlich ist die Elektrizität geriebener Harze derjenigen des geriebenen Glases entgegengesetzt. Man ist übereingekommen, die letztere oder die Elektrizität, welche der Glaskörper der gewöhnlichen Elektrisirmaschinen annimmt, wenn er an mit einem Amalgam bestrichenen Leder gerieben wird, positive Elektrizität zu nennen; dann ist die des Reibzeugs, sowie die des mit einem Fell oder mit Wollzeug geriebenen Harzes die negative Elektrizität, welche man ehedem wohl auch geradezu Harzelektrizität nannte, sowie jene Glaselektrizität.

Wenn nun ein mit, wir wollen der Bestimmtheit wegen sagen, mit positiver Elektrizität versehener isolirter Leiter in der Nähe eines unelektrischen und gleichfalls isolirten Leiters sich befindet, von jenem durch die nichtleitende Luft (oder aber durch einen anderen Nichtleiter) getrennt: so wird auch der letztere Leiter elektrisch, und zwar dergestalt, daß er an seinem einen, dem ersteren zugekehrten Ende negative, am anderen abgekehrten Ende positive Elektrizität zeigt. Der zweite Körper wird also unter dem Einfluß des ersten ein wahrhaft polarer Körper, der an seinen beiden Enden selbst (wie

ein Magnet) den Gegensatz zeigt; dieser Zustand hört auf, wenn die beiden Körper getrennt, d. h. über die Anziehungsweite hinaus von einander entfernt werden. Werden sie aber einander noch mehr genähert, sei es bis zur Berührung, sei es bis zu der Nähe, wo der zwischenbefindliche Nichtleiter (namentlich also die Luft) dem Streben der entgegengesetzten Elektrizitäten zur Vereinigung nicht mehr Widerstand leistet: so neutralisirt sich die negative Elektrizität des zweiten durch Verbindung mit einer entsprechenden Menge positiver vom ersten Leiter, und der zweite behält nur die positive Elektrizität. In diesem Hergang besteht überhaupt die Mittheilung der Elektrizität von einem bereits elektrischen Körper an einen unelektrischen, und wenn dabei ein gehöriges Maß elektrischer Ladung in's Spiel kommt, folglich eine gehörige Spannung zwischen den beiden Körpern, so geht jene Mittheilung schon vor der Berührung und mit einer Heftigkeit vor sich, die sich durch eine Lichterscheinung und ein Geräusch kund giebt (der elektrische Funken). Dieß ist die elektrische Entladung, und jede Mittheilung positiver oder negativer Elektrizität von einem damit versehenen Körper an einen unelektrischen ist nichts anderes als eine Entladung, nur daß häufig die in's Spiel gesetzte Elektrizität zu schwach ist, um einen merklichen Funken zu geben. So hat man sich also schon den Urversuch zu denken, wenn die geriebene Glas- oder Siegellackstange leichte Körperchen zur Berührung herbeizieht und dann wieder abstößt; bei der Annäherung werden diese Körperchen an den dem elektrischen Körper zugekehrten Theilen entgegengesetzt elektrisch und darum angezogen, nach erfolgter Berührung und Entladung aber haben sie die gleiche Elektrizität, wie jener elektrische Körper, werden folglich wieder abgestoßen.

Kehren wir nochmals zu unseren beiden Leitern zurück, so ist ferner klar, daß, wenn bei der Entladung der zweite nicht mehr isolirt ist, alle Elektrizität verschwinden muß, indem die rückständige positive Elektrizität (die im vorigen Fall sofort an beiden Körpern sich zeigte) nunmehr über einen unverhältnißmäßig großen Leiter, die ganze Erde, sich urplötzlich verbreitet.

Denken wir uns endlich beide Leiter wieder über die Entladungsweite von einander getrennt, den ersten in fortwährender Verbindung mit einer, stets neue positive Elektrizität mittheilenden Quelle (z. B. in leitender Verbindung mit dem Glaskörper einer Maschine), den zweiten aber in leitender Verbindung mit dem Boden, so sammelt sich an demjenigen Ende, welches dem ersten Leiter zugekehrt ist, in dem Maß mehr negative Elektrizität an, als jenem ersten Leiter mehr positive (von der Maschine aus) zugeführt wird, während seine positive Elektrizität (welche, als er isolirt war, am anderen Ende sich zeigte) fortwährend in den Boden abgeht. Hiedurch wird die elektrische Spannung an den beiden einander zugekehrten Enden immer größer und die Entladung kann auch sofort bei einer größeren Entfernung eintreten. Ist nun der Nichtleiter anstatt Luft ein starkes Glas, welches dem Entladungsdrang einen großen Widerstand entgegensetzt, ohne daß die Entfernung der Leiter zu groß wird, welche Leiter man dann in Form metallischer Belegungen auf beiden Seiten des Glases selbst anbringen kann: so hat man (indem man dem Glas vollends die Gestalt einer Flasche giebt) die berühmte Leydener Flasche, mit welcher man im Kabinet die Wirkungen des Blitzes nachahmt. Dasselbe Prinzip wiederholt sich in vielen anderen Vorrichtungen der Physiker, aber auch in atmosphärischen Hergängen; wir fügen nur noch bei, daß die elektrische Spannung zwischen der äußeren und inneren Belegung einer Flasche bis zur gewaltsamen Entladung durch das Glas gesteigert werden kann, und daß sie sonst erfolgt, sowie eine leitende Verbindung zwischen beiden Belegungen hergestellt ist (z. B. wenn Jemand beide zugleich berührt, wobei er den elektrischen Schlag empfindet).

Dieß sind die Grundgesetze der Elektrizität im engeren Sinn (der statischen Elektrizität, wie die Franzosen sagen, im Gegensatz zur dynamischen oder zum elektrischen Strom des Galvanismus). Viele Fragen bleiben dabei zurück, wie die von der eigentlichen Ursache der mit der elektrischen Entladung verbundenen Wärme- und Lichtentwicklung, um von der

höchsten zu schweigen, inwiefern durch Reibung der elektrische Gegensatz hervorgerufen werde, die mit der noch unbeantwortbaren Frage nach dem eigentlichen Wesen der Elektrizität selbst zusammenhängt. Nicht sowohl eine Ursachen aufklärende Theorie, vielmehr nur eine zusammenfassende Umschreibung der Erscheinungen ist es, wenn man, sei es von einer oder von zwei (beides ist ausgeführt worden) elektrischen Flüssigkeiten spricht (und gleicherweise beim Magnetismus von magnetischen), die zu den sogenannten unwägbaren Stoffen gehören sollen, wie der Wärmestoff oder gar der Lichtstoff. Es scheint, daß hiezu die Aehnlichkeit des chemischen Gegensatzes geführt hat, der bei der Verbindung entgegengesetzter Stoffe zu einem dritten mehr oder weniger sich ausgleicht, wie wir gesehen haben. Man stellt sich dann die elektrischen Stoffe im unelektrischen Körper als verbunden und somit neutralisirt vor, im elektrischen als getrennt, womit sofort die Anziehungen und Abstoßungen auftreten. Man hat offenbar keine weitere physische Einsicht gewonnen, wenn man an die Stelle der beiden Elektrizitäten zwei elektrische Flüssigkeiten setzt, noch gelangt man wirklich weiter, wenn man von der Thatsache, z. B. daß ein isolirter Leiter unter dem Einfluß eines elektrischen Körpers an seinen beiden Enden entgegengesetzt elektrisch wird, zu der Umschreibung übergeht, daß jener Einfluß die beiden Flüssigkeiten in dem Leiter trenne, die eine an das zugekehrte Ende anziehend, die andere an das abgekehrte abstoßend.

Wenden wir uns nun zur zweiten Klasse von elektrischen Thatsachen oder zur zweiten Epoche dieser Lehre, so ist dieß der Galvanismus mit der daran sich anschließenden Elektrochemie, wovon die Entdeckung zu Ende des vorigen und Anfang des jetzigen Jahrhunderts erfolgte, wozu übrigens bis in die neuesten Zeiten bedeutsame theoretische und praktische Fortschritte gekommen sind (wir erinnern nur an Faraday's Aufschlüsse und an die Galvanoplastik). Der italienische Arzt Galvani hatte zuerst die Bemerkung gemacht, daß wenn man die Muskeln und Nerven eines getödteten Thieres (namentlich eines Frosches, des klassischen Thieres der Elektrizitäts-

lehre) mit den Enden eines Metallbogens, oder wirksamer noch mit den Enden zweier verschiedener, an den anderen Enden sich berührender Metallstücke (namentlich Silber oder Kupfer und Zink) berührt, Zuckungen erfolgen, ähnlich denen bei der elektrischen Entladung (z. B. wenn ein solches Froschpräparat am Leiter einer Maschine angebracht wird). Der Entdecker sah diese Erscheinung als eine elektrische an, schrieb aber die Ursache der durch die metallische Leitung nur vermittelten Wirkung zwischen den Muskeln und Nerven zu, die sich gleichsam wie die beiden Belegungen einer Leydener Flasche verhalten möchten, und sprach deßwegen mit seinen Anhängern von der neuentdeckten „Lebenselektrizität". Allein der Physiker Volta zeigte sofort, daß verschiedene Metalle schon bei ihrer bloßen Berührung (wenn auch in sehr schwachem Grad) entgegengesetzte Elektrizität annehmen (Silber oder Kupfer negative, Zink positive), welche man mit den durch Reibung hervorgebrachten Elektrizitäten durch Anziehungen und Abstoßungen vergleichen könne, und baute (ohne Nerven und Muskeln) mit solchen Paaren von Metallscheiben (Voltaischen Elementen) und (mit Salzwasser) befeuchteten Filzscheiben, welche zwischen die einzelnen Elemente gelegt wurden, die berühmte elektrische Säule, mit welcher die entschiedensten Wirkungen von der Art derer hervorgebracht wurden, die man von der elektrischen Entladung kannte (Funken, Schläge). Indessen stand der Lehre noch ein drittes Stadium bevor; die sogenannte Berührungselektrizität Volta's bleibt zwar Thatsache, allein die eigenthümliche „elektromotorische Kraft", die er den Metallen zuschrieb, wird durch die elektrochemischen Wahrnehmungen gestürzt, sammt der Meinung von der Säule, daß die zwischen den Elementen angebrachten Flüssigkeiten nur zur Trennung der elektromotorischen Metalle, zugleich aber zur Fortleitung der erregten Elektrizitäten dienen sollten; diese „feuchten Leiter" der einseitigen Metallberührungslehre wurden sofort unter den Händen der Chemiker die eigentlichen Elektrizitätserreger, indem man einsah, daß die chemische Wirkung einer Flüssigkeit (zumal Säure) auf ein Metall eine viel stärkere Elektrizitätsquelle sei

(wobei in der Regel das Metall negativ, die Flüssigkeit positiv wird), als die Berührung zweier Metalle. Wenn aber die Elektrochemie so weit ging, den Galvanismus mit chemischer Elektrizität gleichzusetzen (überhaupt chemisches und elektrisches Verhalten der Körper ineinander aufgehen zu lassen) und daher die Berührungselektrizität ganz zu läugnen, so ist dieß wieder nicht das Richtige, vielmehr ist der jetzige Standpunkt der durch die Elektrochemie berichtigten Voltaischen Lehre vom Galvanismus die schon oben angedeutete Ansicht, daß alles Zusammenwirken verschiedener Stoffe, von der bloßen Berührung an bis zum chemischen Prozeß, geeignet ist, den elektrischen Gegensatz hervorzurufen, daß aber die chemische Erregung die stärkste ist und daher ohne Zweifel auch in der nassen (hygroelektrischen) Säule die Hauptrolle spielt.

Der nassen Säule steht die trockene Säule (Zamboni's) zur Seite, welche eigentlich allein die Berührungselektrizität der ursprünglichen Voltaischen Lehre vertritt. Es ist schon bemerkt worden, daß ein einfaches trockenes Element (auch bei großen Platten aus den beiden entgegengesetzten Metallen) nur sehr geringe Spuren des elektrischen Gegensatzes liefert, der übrigens in diesem sogenannten „Voltaischen Urversuch" entschieden nachgewiesen ist. Merklicher wird die elektrische Spannung erst an den beiden Enden einer trockenen Säule, die aus einer großen Menge von Elementen zusammengesetzt ist; erst wenn viele Hunderte, ja Tausende solcher Elemente zu einer Säule verbunden sind, zeigen sich an den beiden Enden, wo die entgegengesetzten Metalle blos liegen, an den Polen der Säule, namhafte Anziehungen und Abstoßungen. Solche Säulen werden aus Scheiben von sogenanntem Silber- und Goldpapier (d. h. dünnen auf Papier aufgetragenen Schichten von Zinn und Kupfer) erbaut, wobei dann gemäß dem Urversuch der positive Pol am Zinnende, der negative am Kupferende sich befindet. Verwickeltere Systeme sind die nassen Säulen, oder, wie man jetzt wegen ihrer mannigfaltigen, von der Säulenform ganz abweichenden Einrichtungen im Allgemeinen lieber sagt, die hygroelektrischen Ketten; es

sind Systeme, wo mindestens dreierlei Stoffe in Aufeinanderwirkung begriffen und mehr als Eine Elektrizitätsquelle im Spiel ist. Man hat aber nicht nur Ketten aus zweierlei Metallen und einer Flüssigkeit (meistens Zink, Kupfer, Säure), sondern auch aus zweierlei durch poröse Wände getrennten Flüssigkeiten und einem sie verbindenden Metall (z. B. Säure, Lauge und Platin); ja man hat neuerdings auch mancherlei vierstoffige Ketten gebildet, welche gleichsam jene beide Formen in sich vereinigen und aus zweierlei Flüssigkeitszellen und zweierlei in dieselben eingetauchten, von einem Element zum anderen in Verbindung stehenden Metallen zusammengesetzt sind (z. B. zweierlei Säuren, Platin oder leitende Kohle und amalgamirter Zink). Der Kosmos kann sich unmöglich weiter in das physikalische Kabinet einlassen, so wenig als auf die noch immer sehr getheilten Ansichten über die Hergänge in diesen zusammengesetzten Ketten. Es ist in der That noch keine ganz befriedigende Theorie der hygroelektrischen Kette vorhanden; wir beschränken uns daher auf die Thatsachen, daß an den beiden Enden jeder solchen Kette, deren einzelne Elemente stets auf dieselbe Art zusammengesetzt sind, der elektrische Gegensatz sich zeigt (wie an den beiden Belegungen einer Flasche oder an den beiden Leitern einer Maschine), und daß, wenn diese Pole der Kette in leitende Verbindung gesetzt werden, „wenn die Kette geschlossen wird," nicht blos eine augenblickliche Entladung stattfindet, sondern eine fortwährende Ausgleichung der beiden gegeneinander sich bewegenden Elektrizitäten, ein stetiger elektrischer Strom, oder vielmehr eine gedoppelte Strömung positiver Elektrizität vom positiven zum negativen und negativer Elektrizität vom negativen zum positiven Pol.

Wenn nun dieser galvanische Strom, anstatt in einem einzigen Metalldraht vor sich zu gehen, in welchem Fall einfach eine fortwährende Entladung stattfindet, durch zusammengesetzte leitende Stoffe (namentlich Flüssigkeiten, mittelst zweier Drähte) geführt wird, so findet eine chemische Zersetzung dieser Stoffe statt, dergestalt, daß der eine Bestandtheil an dem Draht des positiven, der andere an dem Draht des

negativen Pols sich ausscheidet. Wird Wasser (oder ein Oxyd) zersetzt, so scheidet sich der Sauerstoff stets am positiven, der Wasserstoff (oder das Metall) am negativen Pol aus; wird ein Salz zersetzt, so scheidet sich seine Base am letzteren aus, die Säure aber am ersteren, d. h. an dem Pol, dessen Elektrizität derjenigen des geriebenen Glases an der Maschine gleichartig ist, und der in der Regel am Zinkende der gewöhnlichen Kette, jedoch nicht nothwendig, sich befindet (es kann ebensogut das Kupferende sein, was von der besonderen Einrichtung abhängt). Man erkennt vielmehr umgekehrt den positiven Pol an der Ausscheidung von Sauerstoff und Säuren, den negativen an der Ausscheidung von Wasserstoff, Metallen und Basen. Dieß ist die große Entdeckung von den chemischen Wirkungen des Galvanismus oder des elektrischen Stroms, die zu Anfang unseres Jahrhunderts gemacht worden ist (Volta noch unbekannt) und wiederum auf die chemischen Hergänge in der Säule selbst als Elektrizität erregende Ursache geführt hat. Die erste Zersetzung mittelst der Säule war die des Wassers; bald darauf aber erfolgte durch Davy die hochberühmte galvanische Zerlegung von Stoffen, welche bisher zu den unzerlegten gehört hatten, wie die Laugensalze (Kali, Natron) und Erden (Kalk, Thon), und sich nunmehr als Oxyde neuer Metalle von merkwürdig abweichenden Eigenschaften erwiesen (das Kalimetall ist weich wie Wachs, leichter als Wasser und brennt auf diesem schwimmend!) — eine Entdeckung neuer Grundstoffe durch die elektrische Säule, welche in der Chemie und in der Elektrizitätslehre gleich sehr Epoche machen mußte.

Es knüpfte sich hieran die elektrochemische Theorie, d. h. die Wahrnehmung des Zusammenhangs zwischen dem elektrischen Gegensatz und dem chemischen Gegensatz. Da sich nämlich von den zwei Stoffen einer chemischen Verbindung der eine an den positiven Pol der elektrischen Kette begiebt, der andere an den negativen, so muß jener bei der Zersetzung negativ elektrisch, dieser positiv elektrisch sein, und die chemischen Stoffe zerfallen in zwei Reihen, die der elektronegativen und die der elektropositiven Stoffe. Dieser

Gegensatz ist übrigens beziehungsweise zu verstehen, so daß ein und derselbe Stoff gegenüber einem zweiten positiv, gegenüber einem dritten negativ sich verhalten kann (z. B. Schwefel positiv gegenüber dem Sauerstoff, negativ gegenüber dem Metall, und wieder unter den Metallen, z. B. Zink positiv gegenüber dem Platin, negativ gegenüber dem Kalimetall). Man hat die elektrochemische Reihenfolge der jetzigen Elemente zu ermitteln versucht, die zugleich für ihr chemisches Verhalten kennzeichnend sein muß, obwohl schwerlich alle Stoffe je nach ihrem gegenseitigen Verhalten richtig darin stehen. Wir werden an einer ganz anderen Stelle auf jene Reihenfolge zurückkommen und sie der Kürze wegen in eine Linke (die vorherrschend negativen) und eine Rechte (die vorherrschend positiven Stoffe) theilen.

In neuerer Zeit ist es gelungen, auch durch die Reibungselektrizität chemische Zersetzungen zu bewirken; nicht nur ist Wasser zersetzt worden durch wiederholte Entladungen der Leydener Flasche, sondern auch ein Salz dadurch, daß von einer Maschine Drähte sowohl vom Glasleiter als vom Reibzeugsleiter in dasselbe geführt wurden, indem dann bei fortgesetztem Spiel der Maschine in der That eine Art von elektrischem Strom entsteht, von dem sich ähnliche Wirkungen wie von dem galvanischen erwarten ließen. Dadurch ist aber einmal die Elektrizität im engeren Sinn und der Galvanismus einander näher gerückt, indem man nicht nur durch letzteren die Wirkungen der ersteren (Funken, Erschütterungen der Nerven), sondern nunmehr auch durch erstere die bisher eigenthümlichen Wirkungen des Galvanismus (die chemischen Zersetzungen) erhalten hat. Alsdann ist dem Zusammenhang der chemischen und elektrischen Verhältnisse der Körper, so zu sagen, noch eine breitere Grundlage gegeben. Dieser Zusammenhang ist in der That eine Wechselbeziehung; es werden nicht nur durch Elektrizität chemische Prozesse bewirkt, sondern es wird auch umgekehrt Elektrizität durch chemische Wirkungen hervorgerufen; was in der nassen Kette vorgeht, wiederholt sich gleichsam nur in der Zersetzungszelle des Schließungsdrahts,

d. h. da, wo in demselben ein zersetzbarer Leiter angebracht ist. Auch erscheint von hier aus die sogenannte Berührungselektrizität in der That als eine bloße schwache Vorstufe der chemischen Elektrizität im strengen Sinne, d. h. derjenigen, welche durch wirkliche chemische Bildungen hervorgerufen wird; wenn Zink und Kupfer sich innig berühren, so ist allerdings keine chemische Verbindung oder Zersetzung wahrzunehmen, allein immerhin ein Aeußerungsbestreben der chemischen Verwandtschaft, vermöge dessen in den beiden chemisch sich entgegengesetzten Metallen ein wenn auch noch so schwacher Grad des elektrischen Gegensatzes zum Vorschein kommt.

Wie in unserer Epoche die Wechselbeziehung von Elektrochemie und chemischer Elektrizität auftrat, so folgte bald die Entdeckung einer zweiten Wechselbeziehung in dem Elektromagnetismus und der Magnetelektrizität, und damit das dritte Gebiet und die dritte Epoche der elektrischen Wahrnehmungen. Sie begannen zu Anfang des zweiten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts mit der zuerst von Oerstedt bemerkten Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom. Wenn ein Strom um eine Magnetnadel kreist (die sich also im Innern des Schließungsdrahts einer Kette befindet), so strebt die Nadel, sich rechtwinklig zu diesem Schließungsdraht zu stellen und kehrt nach Beseitigung des Stroms in ihre vorige Lage zurück. Ein elektrischer Strom vermag also eine Magnetnadel zu richten, wie ein Magnet, auf den sie gestellt wird, und seitdem ist eine Magnetnadel mit einem vielfach gewundenen Schließungsdraht das empfindlichste Werkzeug, um Spuren elektrischer Ströme zu erspähen (Multiplikator). Dieser ersten Thatsache folgte die Herstellung von Elektromagneten oder die Wahrnehmung Davy's, daß unmagnetisches Eisen, um welches ein Schließungsdraht rechtwinklig zu seiner Längenaxe gewickelt ist, alsbald zum kräftigen Magnet wird, wenn ein Strom von gehöriger Stärke durch jenen Schließungsdraht geführt wird, und die magnetische Kraft mit Unterbrechung des Stroms alsbald wieder verliert, während Stahl auf diese Art, d. h. wenn er gehörig lange von einem gehörigen Strom

umkreist worden ist, zum bleibenden Magnet wird. Diese Körper verhalten sich also unter solchem Einfluß eines Stroms wie unter dem Einfluß eines schon vorhandenen Magnets. Wir können beifügen, daß neuerdings auch die Magnetisirung durch den Schließungsdraht von Maschinen und selbst von Leydener Flaschen erfolgt ist, und Ablenkungen der Magnetnadel auch durch elektrische Entladungen bewerkstelligt worden sind; daß sich also auch in dieser Beziehung alle Elektrizität übereinstimmend verhält.

Haben wir in diesen beiden Thatsachen einmal einen magnetischen Einfluß des elektrischen Stroms, alsdann die ursprüngliche Hervorrufung der magnetischen Kraft durch Elektrizität: so zeigen die folgenden Wahrnehmungen von Ampere, Arago und Faraday das Umgekehrte. Wenn nämlich dem Oerstedtschen Grundversuch überhaupt eine Anziehung zwischen Strom und Magnet zu Grunde liegt, so war zu erwarten, daß auch umgekehrt ein Magnet auf einen beweglichen Schließungsdraht wirken und die Richtung des Stroms verändern werde. So war es denn auch; hieher gehören die mannigfaltigen Drehversuche, in denen es mittelst besonderer Vorrichtungen gelungen ist, ebensowohl bewegliche Schließungsdrähte um feste Magnete, als bewegliche Magnete um feste Leiter sich drehen zu lassen. Die Spitze dieser Wahrnehmungen aber bildet Ampere's Solenoid, wo ein Schließungsdraht (ohne daß eine Spur von Eisen im Spiel ist) zu einem förmlichen Magnet mit Nord- und Südpol wird, der Eisenfeile anzieht, die Pole eines anderen Magnets (sei es ein wirklicher Magnet oder ein zweites Solenoid) beziehungsweise anzieht und abstößt, und unter dem Einfluß des Erdmagnetismus die Richtung der Magnetnadel annimmt, wenn er beweglich gemacht wird. Ein solches Solenoid, der künstliche Magnet im strengsten Sinn, besteht aus einem erst schraubenförmig gewundenen, dann in die Schraubenaxe zurückkehrenden Schließungsdraht und ist somit ein Körper von cylindrischer Form, um dessen Axe ein elektrischer Strom rechtwinklig zu dieser Axe kreist. War mit allen diesen Erscheinungen überhaupt die

Gegenseitigkeit der Wirkungen zwischen Magneten und Strömen herausgestellt und insbesondere elektrische Einflüsse des Magnets nachgewiesen: so fehlte nur noch die ursprüngliche Hervorrufung eines Stromes durch den Magnet, und dieß leistete Faraday's Entdeckung der Induktionserscheinungen oder der magnetelektrischen Ströme. Wenn nämlich einem rollenförmig aufgewickelten Metalldraht (dessen einzelne Windungen gegeneinander durch einen Ueberzug mit Seidefaden isolirt sind), d. h. einer sogenannten Induktionsrolle, der eine oder andere Pol eines Magnets rasch genähert wird (durch Einführung in die Höhlung der Rolle), so entsteht in diesem Augenblick ein Strom in dem Leiter, desgleichen bei der raschen Wiederentfernung des Magnetpols, aber ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Von dieser Grundwahrnehmung aus sind die magnetelektrischen Maschinen ersonnen worden, mit denen die verschiedenen elektrischen Wirkungen (Funken, Schläge, Zersetzungen, Ablenkungen der Nadel) dadurch zu Stande kommen, daß an einem System von Hufeisenmagneten Induktionsrollen rasch vorübergedreht werden.

Dieß ist die berühmte Entdeckung des vorigen Jahrzehnts, welche die Reihe der in den zwanziger Jahren begonnenen Wahrnehmungen abschließt, indem sie durch die Wirkung eines Magnets auf einen (unelektrischen) Leiter sogar elektrische Lichtentwicklung hervorruft. Der Elektrisirmaschine und der galvanischen Kette ist nun in der magnetelektrischen Maschine eine dritte Vorrichtung zur Seite getreten, mit der man die meisten elektrischen Erscheinungen hervorbringt, sowie in den Elektromagneten und Solenoiden zwei neue Gattungen von Magneten sich ergeben haben. Zu den magnetelektrischen Erscheinungen gehört auch der schon früher wahrgenommene, aber vorher falsch gedeutete sogenannte Rotationsmagnetismus Arago's, oder die Thatsache, daß eine Magnetnadel abgelenkt wird, unter welcher man eine Scheibe unmagnetischen Metalls (z. B. Kupfer) sich drehen läßt; der Vorübergang dieses Leiters an den Nadelpolen erregt nämlich einen elektrischen Strom in dem Leiter und dieser lenkt die Nadel ab.

Das Prinzip endlich, wodurch Einheit in alle diese Erscheinungen des Elektromagnetismus und der Magnetelektrizität kommt, beruht auf Amperes elektrodynamischen Gesetzen oder den Gesetzen über das gegenseitige Verhalten von Strömen (Elektrizität in Bewegung, daher elektrodynamisch). Schließungsdrähte nämlich, in welchen elektrische Ströme vor sich gehen (auf welche Art dieselben erregt sein mögen) üben anziehende und abstoßende Wirkungen auf einander nach dem Grundgesetz, daß parallele Ströme sich anziehen, wenn sie einerlei Richtung haben, sich abstoßen, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind. Diesem steht alsdann das zweite Gesetz zur Seite für Ströme, welche sich kreuzen, wornach zwischen solchen Anziehung stattfindet, wenn beide nach dem spitzen Winkel gehen, welchen sie bilden, sowie wenn beide von demselben sich entfernen; Abstoßung dagegen, wenn der eine der Winkelspitze sich nähert, der andere davon sich entfernt. Das dritte endlich führt die Wirkung eines Magnets ganz auf die eines elektrischen Stroms zurück, indem hiernach die Wirkung zwischen einem Strom und einem Magnet ganz dieselbe ist, wie zwischen einem Strom und einem zweiten Strome, der in einem Leiter um dessen Axe in zu derselben rechtwinkligen Ebenen kreist, d. h. einem Solenoid. Ein Magnet erscheint hiernach als ein von elektrischen Strömen rechtwinklig zu seiner Axe umkreister Körper, und dasselbe gilt von der Erde, d. h. der Einfluß des Erdmagnetismus auf bewegliche Ströme geht gerade so vor sich, wie wenn die Erde, deren magnetische Axe durch die Stellung der Magnetnadel angezeigt ist, von elektrischen Strömen in der Richtung Ost-West umkreist wäre.

Jedermann wird fühlen, von welchem Belang hiernach das Gebiet der elektromagnetischen Erscheinungen für den Erdmagnetismus ist; ehe wir aber zu diesem zurückkehren, haben wir noch ein viertes Gebiet elektrischer Thatsachen anzudeuten, das Gebiet der thermoelektrischen Erscheinungen. Auch Wärme vermag Elektrizität zu erregen. Es giebt natürliche Krystalle, an sich zu den Nichtleitern gehörig, welche durch blose Erwärmung elektrisch werden, so daß sie leichte Körper an sich

ziehen wie das geriebene Siegellack; besonders berühmt ist in dieser Hinsicht der auch durch seine optischen (lichtpolarisirenden) Eigenschaften ausgezeichnete Turmalin (der Aschenzieher), welcher durch Erwärmung elektrische Polarität in der Art annimmt, daß an den beiden Enden des prismatischen Krystalls entgegengesetzte Elektrizitäten sich zeigen, so daß zwei erwärmte Turmaline wie zwei Magnete sich gegeneinander benehmen. Dieß ist schon eine ältere Thatsache; neuer ist Seebeck's glänzende Entdeckung der thermoelektrischen Ströme, welche in einer geschlossenen Kette von Leitern durch blose Temperaturverschiedenheiten in verschiedenen Theilen des Umfangs entstehen. Der Grundversuch ist dem Voltaischen ähnlich; wenn nämlich zusammengelöthete Stücke zweier verschiedener Metalle (namentlich Wismuth und Antimon) an der Löthstelle erwärmt werden, so zeigt sich in einem ihre anderen Enden verbindenden Leiter ein thermoelektrischer Strom, welcher die Magnetnadel ablenkt gleich einem hygroelektrischen Strom. Dieß ist die einfache thermoelektrische Kette; man baute aber sofort aus jenen Metallen Säulen von beliebig vielen Elementen, wodurch die Wirkung ebenso verstärkt wird wie in der Voltaischen (nassen oder trockenen) Säule, dergestalt daß z. B. schon das Vorhalten der hohlen Hand (ohne Berührung) vor das eine Ende derselben eine merkliche Ablenkung der Magnetnadel (im Multiplikator) hervorbringt.

Man hat von hier aus auch den Gedanken gehabt, daß die Reibungselektrizität auf Wärmeunterschieden beruhen möchte, welche zunächst durch die Reibung hervorgebracht würden. Denken wir endlich an die Wärmeentwicklungen in Folge der elektrischen Entladung und Strömung zurück, so erscheint auch die Beziehung zwischen Elektrizität und Wärme als eine gegenseitige, und man wird auf ein gemeinsames Band zwischen den sämmtlichen sogenannten Imponderabilien der älteren Physik hingewiesen, welches wohl in dem Einen unwägbaren Stoff der neueren Physik, dem Aether, zu suchen ist, auf den wir im fünften Abschnitt das Licht zurückgeführt haben und mit dem wir im nächsten die Wärme wenigstens in

Verbindung zu setzen suchen werden, wobei wir dann auch auf sein Verhältniß zur Elektrizität zurückkommen.

Nachdem wir nun die wichtigsten Erfahrungen über die irdischen Polarkräfte kennen gelernt haben, welche der Physiker künstlich an seinen Vorrichtungen und Versuchen gemacht hat, gilt es, ihre natürliche Wirksamkeit im Großen kennen zu lernen, die in der Naturgeschichte der Erde in der That keine geringe Rolle spielt. Dabei handelt es sich vornehmlich um den Magnetismus des Erdkörpers, da wir die Elektrizität der Atmosphäre bereits einem späteren Abschnitt im Zusammenhang mit den übrigen meteorischen Erscheinungen vorbehalten haben. Wir haben bei Darlegung der magnetischen Grunderscheinungen die Süd-Nordrichtung einer beweglichen Magnetnadel noch ohne nähere Bestimmung erwähnt; es handelt sich jetzt um die näheren Umstände dieser Grundthatsache, sowie um die Verschiedenheiten, welche darin verschiedene Orte der Erde darbieten, aber auch ein und derselbe Erdort zu verschiedenen Zeiten.

Die Richtung der Magnetnadel, welche sich frei um eine senkrechte Axe drehen kann, ist bei uns keineswegs genau die Richtung Süd-Nord, so daß ihre beiden Enden nach den Erdpolen selbst hinwiesen, sondern sie weicht von der Mittagslinie etwas ab, so daß der astronomische Meridian eines Erdorts mit dem durch die Nadel angegebenen magnetischen Meridian desselben Erdorts einen Winkel macht, den man die Abweichung (Deklination) der Magnetnadel nennt. Aber auch die wagrechte Stellung der Nadel ist keineswegs ihre natürliche; vielmehr neigt sie sich bei uns, wenn sie nicht daran gehindert ist, sondern im magnetischen Meridian frei um eine wagrechte Axe sich drehen kann, sehr bedeutend gegen den Horizont, den Nordpol nach unten gekehrt, unter einem Winkel, welcher schlechtweg die Neigung (Inklination) der Magnetnadel heißt. Könnte also ein Magnet um seinen fest unterstützten Schwerpunkt nach allen Richtungen sich bewegen, so würde er nur in einer bestimmten Lage in Ruhe bleiben, wobei er ganz bestimmte Winkel mit dem Meridian und Horizont des betreffenden Erdorts machte,

und würde er aus dieser Gleichgewichtslage gebracht, so würde er in seinem Streben zur Rückkehr erst pendelartige Schwingungen um jene Lage her machen, aus deren Geschwindigkeit auf die Stärke der magnetischen Kraft an jenem Orte zu schließen wäre, welche ihn in jene Lage zu bringen strebt. Ebenso macht die wagrechte Nadel Schwingungen um den magnetischen Meridian her, ehe sie nach einer Störung ihres Gleichgewichts wieder in demselben stehen bleibt; die Geschwindigkeit derselben läßt aber zunächst blos auf einen Theil der bewegenden Kraft schließen, nämlich auf den wagrecht wirkenden, während der andere Theil, welcher in der Ebene des magnetischen Meridians wirkt, ebenso durch die Schwingungen der Neigungsnadel, aber auch schon aus der Neigung selbst in Verbindung mit den wagrechten Schwingungen (nach Sätzen der Mechanik) bekannt wird, aus beiden zusammen sofort die Gesammtkraft. Diese selbst aber ist, wenn man die Sache genau nimmt, erst noch nicht die magnetische Kraft der Erde an dem betreffenden Ort, sondern das Ergebniß aus dieser und der magnetischen Kraft der Nadel; es läßt sich erwarten, daß letztere unbedeutend im Vergleich mit jener sein werde, aber es ist auch den Physikern gelungen, die Kraft der Nadel aus der beobachteten Gesammtkraft ganz zu beseitigen und so die Stärke des Erdmagnetismus an dem betreffenden Ort rein kennen zu lernen.

Allein die in Abweichung und Neigung der Magnetnadel sich kundgebende Richtung und die in den Schwingungen sich äußernde Stärke des Erdmagnetismus ist keineswegs an allen Punkten der Oberfläche dieselbe, ja die magnetische Abweichung und Neigung sind bis zum Entgegengesetzten verschieden. Es giebt Orte der Erdoberfläche, in welchen der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammenfällt; es giebt solche, wo die Abweichung westlich, und solche, wo sie östlich ist, selbst bis zu 90 Grad, ja dergestalt daß die Nadel gleichsam umgekehrt erscheint und unser Nordende nach Süden sich richtet; diese bedeutenden Abweichungen finden in den Umgebungen der Erdpole statt, während in den von diesen entfern-

teren Gegenden, wie den unsrigen, allerdings die sogenannte Süd-Nordrichtung näherungsweise stattfindet (d. h. mit mäßigen westlichen oder östlichen Abweichungen). Die Neigung aber nimmt nach Norden noch zu bis zum senkrechten Stand (das Nordende nach unten), welcher von Kapitän Roß mitten im Polareis wirklich wahrgenommen worden ist; sie nimmt nach Süden zu ab, und es giebt um den Erdgleicher her Punkte, wo die Neigung verschwindet und die Nadel sich wagrecht stellt; weiter nach Süden nimmt die Neigung wieder zu, aber so, daß das Südende nach unten sich kehrt und in der Umgegend des Südpols giebt es ebenso (wenigstens) einen Punkt, in dessen Nähe man neuerlich gekommen ist, wo die Nadel sich wieder senkrecht stellt mit ihrem Südende nach unten. Endlich ist die Geschwindigkeit der Schwingungen, welche eine und dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten der Erde vollzieht, ebenfalls verschieden, d. h. die magnetische Kraft der Erde äußert sich an verschiedenen Orten der Erde auch mit verschiedener Stärke, dergestalt daß sie im Allgemeinen von den Aequatorgegenden nach den Polen hin zunimmt und sich endlich fast verdoppelt.

Durch die zahlreichen Beobachtungen in allen möglichen Gegenden der Erde, welche besonders durch Humboldt in großartigem Maßstab in diesem Jahrhundert angeregt worden sind, ist man in den Stand gekommen, diejenigen Punkte, in welchen je eines der drei Elemente, Abweichung, Neigung, Kraftstärke denselben Werth hat, auf Karten nicht nur einzutragen, sondern auch durch fast stetig fortlaufende Linienzüge zu verbinden. Diese isogonischen, isoklinischen und isodynamischen Linien, welche sonach die Punkte der Erde von gleicher Abweichung, Neigung und Kraftstärke verbinden, sind sehr unregelmäßige Kurven. Sowohl die Linien gleicher Neigung, als die gleicher Stärke sind im Allgemeinen den Parallelkreisen zu vergleichen. Erstere schlingen sich manchmal um die Parallelen her, so namentlich um den Aequator her diejenige, wo die Nadel wagrecht sich hält, die man häufig den magnetischen Aequator nennt, während magnetiche Pole diejeni-

gen Punkte sind, wo die Nadel sich senkrecht stellt; einer derselben liegt nach Roß in der Nähe von Boothialand unter 80 Grad westlicher Länge und 70 Grad nördlicher Breite, ein zweiter scheint gerade südlich von Australien unter 150 Grad östlicher Länge und gegen 80 Grad südlicher Breite zu liegen. Die Linien gleicher Kraftstärke aber sind mehr oder minder unregelmäßige Ovale, welche auf die magnetischen Pole sich beziehen und die Parallelkreise schneiden. Diejenige darunter, welche der kleinsten Stärke entspricht, schneidet den Erdgleicher in zwei Punkten und zieht in der Nähe der neigungslosen Kurve, aber wiederholt sie durchkreuzend; sie wird neuerdings lieber der magnetische Aequator genannt als jene, während die magnetischen Pole nach der ersten Bestimmung zugleich die Punkte der größten Kraftstärke, also auch die Pole nach dem zweiten Sprachgebrauch sind. Den magnetischen Parallelen im einen oder anderen Sinn stehen die Linien gleicher Abweichung als die magnetischen Meridiane gegenüber, die wahrscheinlich alle in den magnetischen Polen zusammenlaufen, aber in sehr verwickelten Zügen wiederholt die Erde zwischen Nordpol und Südpol durchziehen. Die Linie ohne Abweichung kann als der magnetische Hauptmeridian angesehen werden: „aus dem Nordpolareis herabgekommen geht sie durchs weiße Meer, Rußland, den Kaspisee, zieht um Vorderindien herum, durchschneidet Hinterindien und zieht bis zur nordsibirischen Küste, von wo sie zwischen Kamtschatka und Japan hindurch wieder nach Hinterindien zurückkehrt, das indische Meer und Australien durchschneidet und endlich im südlichen Polareis verschwindet; aber im südamerikanischen Meer kommt sie aus demselben wieder hervor und führt durch Brasilien, das Antillenmeer, die vereinigten Staaten von Nordamerika, die Hudsonsbay in das nördliche Polareis und in sich selbst zurück.“ Dieses Beispiel mag einen Begriff von der Verwicklung geben, in welcher die Sache des Erdmagnetismus begriffen ist; eine genauere Anschauung muß man sich aus den magnetischen Karten selbst holen.

Aber Alles das gilt nur für eine bestimmte Zeit; denn die

drei magnetischen Elemente sind an jedem einzelnen Ort veränderlich, womit sich im Verlauf der Zeit die magnetischen Meridiane und Parallelen verschieben; der ganze magnetische Zustand der Erde verändert sich fortwährend. Diese Veränderungen sind von dreierlei Art; die erste geht langsam, aber während eines langen Zeitraums stets in demselben Sinn vor sich, wodurch eben Lage und Figur der magnetischen Linien allmälig gänzlich sich umgestalten kann. Die Abweichung kann an einem und demselben Ort allmälig aus der westlichen zur östlichen übergehen mit einem Spielraum von 30 und mehr Graden; in Paris z. B. war die Abweichung im Jahr 1580 11 Grad östlich, 1664 Null, sofort westlich bis fast 23 Grad, von welchem Größten sie seit 1819 wieder abnimmt. Einen engeren Spielraum scheint die Aenderung der Neigung zu haben, sie war z. B. in London 72 Grad im Jahr 1576, nahm alsdann bis 1720 noch um einige Grade zu und seitdem wieder bis auf etwa 69 Grad ab. Dieses abwechselnde Zunehmen und Abnehmen deutet ohne Zweifel darauf hin, daß diese großen und langsamen Veränderungen im magnetischen Zustand der Erde zuletzt periodischer Natur sind, dergestalt daß nach langen Zeiträumen eine Wiederkehr des früheren Zustands, wenn auch nicht in aller Strenge eintritt; indeß ist diese große magnetische Periode noch keineswegs Thatsache, geschweige denn daß man von ihrer Dauer und ihren näheren Umständen und Ursachen auch nur eine Ahnung hätte. Wie wünschenswerth aber diese Kenntniß wäre, zu deren Erlangung wohl noch Jahrhunderte erforderlich sein mögen, mag daraus erhellen, daß damit der Gang der Wetterverhältnisse im Verlauf größerer Zeiträume zusammenhängen mag.

Die zweite Art von Veränderungen ist entschieden periodisch, und die Perioden sind der Tag und das Jahr. Man kennt aber bis jetzt nur die regelmäßigen täglichen Schwankungen der wagrechten Nadel genauer, wornach die Abweichung in unseren Gegenden jeden Morgen am östlichsten, bald nach Mittag am westlichsten ist, was in der südlichen Halbkugel im Allgemeinen umgekehrt sich verhält und in den Tropen in

kleinerem Maßstab vor sich geht als bei uns. Die Größe der täglichen Veränderungen ist nach den Jahreszeiten verschieden, was an einigen Orten mit Entschiedenheit sich herausgestellt hat, während dagegen jährliche Veränderungen der mittleren täglichen Richtung noch nicht bekannt sind. Ebenso wenig hat man regelmäßig wiederkehrende Schwankungen dieser Art in den beiden anderen magnetischen Elementen beobachtet.

Zu diesen regelmäßigen, mit den Tages- und Jahreszeiten zusammenhängenden Veränderungen kommen unregelmäßige, außerordentliche und barsche Veränderungen, welche die dritte Art bilden und zuweilen sehr beträchtlich sind, zuweilen in einer längere Zeit anhaltenden Unruhe der Nadel bestehen. Seitdem Humboldt den Anlaß zu gleichzeitigen Beobachtungen der Magnetnadel an vielen Orten gegeben, hat man erkannt, daß diese barschen Schwankungen keineswegs örtlicher Natur sind, sondern an entlegenen Orten gleichzeitig sich zeigen, daß sie im Allgemeinen in den nördlicheren Gegenden beträchtlicher, und daß deßhalb auch ihre Ursachen vorzugsweise in den Polargegenden zu suchen sind, endlich daß zu den begleitenden Umständen insbesondere die Nordlichter gehören. Der erste Fall beobachteter Gleichzeitigkeit fand bei Gelegenheit eines Nordlichts in Paris und Kasan statt. Durch diese Schwankungen der Nadel verrathen sich also außerordentliche Veränderungen, welche im magnetischen Zustand der Erde überhaupt vorgehen, „magnetische Ungewitter“, die sich in einem großen Theil der Erde entladen, meistens aber ihren Ausgangspunkt in den Polargegenden haben und hier zwar nicht jedesmal, aber zuweilen in der mächtigen Erscheinung des Polarlichts sozusagen zum äußerlichen Ausbruch kommen.

Durch die Magnetnadel ist der Zusammenhang der Nord- und Südlichter mit dem Magnetismus der Erde außer Zweifel gesetzt, nicht minder ist es die elektrische Natur dieser Lichtentwicklungen durch die elektromagnetischen Thatsachen. Da nicht jede an der Magnetnadel sich verrathende Störung in dem magnetischen Zustand der Erde mit der Lichterscheinung verbunden ist, und da ihr in den Fällen, wo sie

eintritt, die Unruhe der Magnetnadel einige Zeit vorangeht, so wird man auf die Ansicht geführt, daß das Polarlicht nicht sowohl die Ursache jener Störung ist, als vielmehr, wie die Unruhe der Nadel, eine Folge von dem gestörten magnetischen Gleichgewicht, indem dieses durch die elektrische Entladung hergestellt wird, welche bei gesteigerter Heftigkeit mit der Lichtentwicklung begleitet ist. Man hat sich auch nach anderweitigen elektrischen Erscheinungen umgesehen, welche näher in die Natur des Polarlichts hineinblicken lassen möchten. Man hat an das Wetterleuchten erinnert, wenn ein Gewölk mehrere Minuten hindurch in flimmerndes Leuchten geräth, sowie insbesondere an die Erscheinungen, welche die in luftverdünntem Raum ausströmende Elektrizität darbietet, wenn zwischen zwei Leitern auf eine ziemliche Entfernung und längere Zeit hindurch eine Masse blassen und farbigen Lichts sich zeigt, ganz verschieden von dem gewöhnlichen elektrischen Funken. Man hat endlich auch an die prächtige Lichterscheinung gedacht, welche in der Voltaischen Kette zwischen zwei dieselbe schließenden Kohlenspitzen sich zeigt, während dieser Strom zugleich seine gewöhnliche Wirkung auf die Magnetnadel äußert. Allein man muß gestehen, daß man über die näheren Ursachen der Erscheinung noch sehr im Unklaren ist.

Obwohl dieselbe manchmal in ihren entfernteren Ausläufern bis in unsere Gegenden sichtbar ist, so ist die vollständige Beobachtung doch nur in höheren Breiten möglich. Das Polarlicht kündigt sich durch einen verwaschenen Schimmer am nördlichen Horizont an, worauf unregelmäßige Lichtströme scheitelwärts sich erheben und weiterhin in zwei mächtige Säulen, eine westliche und eine östliche, sich vereinigen, welche sich langsam erheben und deren Farbe fortwährend vom Gelben ins Grüne und Purpur spielt. Sie verbinden sich zuletzt und bilden dann einen Bogen, welcher in seinem vollen Glanz während mehrerer Stunden sich erhält und einen dunklen Raum umschließt, in welchem zeitweise verwaschene und bunte Lichtschimmer spielen, während die feurigen Striche, die den Bogen selbst durchfurchen, auswärts aufschießen und sich jenseits des

Scheitelpunkts in einem kleinen Raum vereinigen, der berühmten Krone des Nordlichts. Alsdann ist die Erscheinung vollständig, wenn es überhaupt dazu kommt, denn es ist nicht jedesmal der Fall, und überhaupt unterscheidet sich das eine Nordlicht vom anderen durch eigenthümliche Erscheinungen. Es löst sich sofort wieder allmälig auf, indem die Krone verschwindet, der Bogen erblaßt und aufbricht, und zuletzt nur zerstreute schimmernde Flecken sichtbar sind, wie zu Anfang. Der höchste Punkt des Bogens befindet sich stets im magnetischen Meridian, und die Krone scheint in der Verlängerung der Neigungsnadel (daher jenseits des Scheitelpunkts) zu liegen. Das knisternde Geräusch, welches mit der Lichterscheinung nach der Sage verbunden sein soll, gilt heutzutage für mehr als zweifelhaft. Nach Messungen, die man über die Größe und Entfernung von Nordlichtern angestellt hat, muß es manchmal in die höchsten Regionen der Atmosphäre sich erstrecken, doch scheint es meistens innerhalb der Wolkenregion vor sich zu gehen. Darauf deutet auch der Zusammenhang des Nordlichts mit den feinsten Flockenwölkchen („Cirren“), indem der Rückstand der Erscheinung häufig als ein weißes zartes, gefiedertes oder schäfchenförmiges Gewölk sich darstellt, weßhalb man auch geradezu in solchem Gewölk das „Substrat des Polarlichts“, d. h. das was zunächst leuchtend wird, zu erblicken und „die elektromagnetische Lichtentwicklung als Theil eines meteorologischen Prozesses zu betrachten“ geneigt ist.

So führt uns also der Erdmagnetismus auf der einen Seite durch das Polarlicht in die Höhen der Atmosphäre, während er auf der anderen den Blick in die unterirdischen Tiefen zu eröffnen verspricht; wahrhaftig ein räthselhaftes Wesen, das halb auf eine meteorologische, halb auf eine geologische Stelle Anspruch macht. Es erheben sich nun noch zwei Fragen über den Erdmagnetismus; die eine betrifft seinen Sitz oder die Vertheilung der magnetischen Kraft im Erdkörper, die andere hat es mit der Ursache derselben zu thun. In beiden aber ist die Wissenschaft noch fern von genügender oder entschiedener Auskunft.

In der That, wenn man den verwickelten Gang der magnetischen Linien und die Veränderlichkeit der magnetischen Elemente bedenkt, so stellt sich eine Verwicklung heraus, die aufs Auffallendste gegen die Einfachheit absticht, welche wir bei jener ersten irdischen Kraft, der Schwere angetroffen, aber auch gegen die, welche wir oben an einem Magnet von einfacher Gestalt wahrgenommen haben. Nachdem man sich zuerst nach Entdeckung der Süd-Nordrichtung die Vorstellung von der Erde gemacht hatte, daß sie ganz einfach ein mächtiger Magnet sei, der den einen Pol im Norden, den anderen im Süden habe: schritt man später, als man die geographischen Verschiedenheiten im Hervortreten der magnetischen Kraft näher kennen zu lernen begann, zu der Annahme fort, daß sich zwei große Magnete von verschiedener Stärke in der Erde befinden, daß man also zwei magnetische Nordpole (nördlich von Asien den einen, nördlich von Amerika den anderen) und ebenso zwei Südpole (in noch unbekannten Stellen der Südsee) habe, und in der That konnten hiemit die Erscheinungen genügender erklärt werden, als in der Annahme Eines Magneten. Allein vor den nach Menge und Güte fortschreitenden Beobachtungen der neuesten Zeiten hat auch die Vorstellung von dem Doppelmagnet als weit nicht genügend sich wieder zurückziehen müssen, und man ist heutzutage nach gänzlichem Zweifel über die Anzahl der Pole wieder zur Annahme zweier, eines Nordpols und eines Südpols, zurückgekehrt. Denn es ist ein entschiedener Schritt in dieser Theorie durch Gauß, den „Neuton des Erdmagnetismus", geschehen, dergestalt daß die nach derselben verzeichneten magnetischen Karten bereits eine ziemliche Uebereinstimmung mit denjenigen zeigen, wo die magnetischen Linien nach den Beobachtungen eingetragen sind. Ferner ist Gauß zu einem sehr bedeutsamen Ergebniß über die Größe der gesammten magnetischen Kraft der Erde gelangt; hiernach wären 8464 Trillionen Magnetnadeln, wovon jede ein Pfund schwer und deren Axen sämmtlich einerlei Richtung haben, erforderlich um die magnetische Wirkung der Erde im äußeren Raum zu ersetzen. Würde man dieselben gleichförmig durch den ganzen Erdkörper ver-

theilen, so käme auf jeden Würfel von $1\frac{1}{2}$ Fuß Seite oder auf je $3\frac{3}{8}$ Kubikfuß der Erde einer jener einpfündigen Magnetstäbe. Hieran schließt sich aber nach Bessel die weitere Erwägung, daß die Materie an der Erdoberfläche, die meist keine merkliche magnetische Wirkung zeigt, gewiß im Ganzen weit weniger magnetisirt ist, als sie es wäre, wenn jede $3\frac{3}{8}$ Kubikfuß derselben die magnetische Kraft eines einpfündigen Magnets besäßen; daß man sich also der Annahme von einer größeren Magnetisirung im Inneren der Erde nicht entziehen kann, obschon dieß der oft geäußerten Meinung von dem blos oberflächlichen Sitz des Erdmagnetismus widerstreitet.

Diese Bemerkung führt uns übrigens zu der anderen Frage nach der eigentlichen Ursache des Erdmagnetismus, wohl zu unterscheiden von der vorigen Frage, deren Beantwortung durch Gauß nicht nur auf den richtigen Weg geführt, sondern selbst bereits mit einiger Annäherung geleistet worden ist. Auch bleiben die Ergebnisse der Gaußischen Theorie, wornach man einst für jeden beliebigen Erdort dessen magnetische Elemente zu berechnen im Stande sein wird, dieselben, wie auch die Frage nach der Ursache des Erdmagnetismus beantwortet werden mag. Die nächste Antwort aber ist offenbar die, daß der Erdkern ein an und für sich magnetischer Körper, ein natürlicher Magnet sei, wenn auch nicht eben bis zu den innersten Schichten, sowie vielleicht in zahllosen und unregelmäßig vertheilten Stücken. In Verbindung mit dem obigen Ergebniß über die Kraft des Erdmagneten müßte man dann etwa den zwölften Theil der Erde aus ursprünglich magnetischen Stoffen bestehen lassen, wobei man wohl namentlich an Eisen denken würde, welches sehr wahrscheinlich im Inneren der Erde einer der verbreiteteren Stoffe ist. Wenn man aber von hier aus die Frage nach der Ursache nochmals erheben möchte, woher nämlich dieses Eisen (oder diese Eisenverbindungen) die magnetische Kraft haben, so führt der Elektromagnetismus von selbst auf die zweite Antwort, daß die Erde ein Elektromagnet sein möchte, indem jenes Eisen durch elektrische Ströme magnetisch geworden wäre, welche die Erde in gewissen Richtungen durchziehen oder

auch nur einstens durchzogen haben. Die Wärmeverschiedenheiten an der Erdoberfläche, wie im Inneren, vielleicht auch die mannigfaltigen chemischen Prozesse, die auf und in der Erde vorgehen mögen, legen die Entstehung mannigfaltiger elektrischer Ströme an der Oberfläche und im Inneren nahe genug. Eine gemeinschaftliche Einwendung aber gegen diese Versuche, unsere Frage zu beantworten, holt sich von dem Umstand her, daß im Inneren der Erde jedenfalls eine sehr hohe Temperatur herrscht, und daß bei höheren Hitzegraden alle des Magnetismus fähigen Stoffe, die wir kennen, ihre Kraft verlieren. Ohne Zweifel hat dieses Bedenken zu der dritten Antwort geführt, welche sogleich erörtert werden soll, nachdem wir dagegen geltend gemacht haben, daß wir uns die Stoffe im Erdinneren trotz des sogenannten unterirdischen Feuers unter ganz anderen Verhältnissen zu denken haben, welche die Uebertragung von den Erfahrungen an der Oberfläche auf das Innere nicht gestatten. Hierauf kommen wir im nächsten Abschnitt zurück.

In der That könnte aber endlich (und darin besteht die schon angekündigte dritte Antwort) das blose Vorhandensein elektrischer Ströme in vorherrschend ostwestlicher Richtung hinreichen, um, abgesehen von allem Eisen im Inneren der Erde, die magnetische Kraft derselben zu erklären. Sie wäre dann nicht sowohl ein Elektromagnet als vielmehr ein Solenoid (oder ein System von Solenoiden), dessen Axe durch die Richtung der Magnetnadel angezeigt wäre, ein in der genannten Richtung von elektrischen Strömen umkreister Körper. Der Sitz der Strömung könnte dann auch blos in der Oberfläche zu suchen sein und ihre Ursache in der Erwärmung der Erdfläche durch die Sonne. In der Möglichkeit dieser dritten Antwort aber liegt der Grund, weßhalb wir oben behauptet haben, daß der Erdmagnetismus nur einen zweideutigen Aufschluß über das Innere der Erde gewähre, ja daß es selbst noch in Frage gestellt sei, ob die Veränderungen, welche die Zuckungen der Magnetnadel verrathen, im ganzen Erdkörper oder nur an ihrer Oberfläche vorgehen. Welcher Ansicht man aber huldigen mag, so läßt sich die Veränderlichkeit des magnetischen Zustands der

Erde begreifen; auf der Hand liegt dieß, wenn wir nach der zweiten oder dritten Ansicht die Ursache in elektrischen Strömungen suchen, welche wir uns nicht wohl anders als veränderlich denken können; aber auch bei der ersten Ansicht sehen wir in den mannigfaltigen Prozessen, welche fortwährend im Inneren der Erde vorgehen mögen, eine hinreichende Quelle der magnetischen Veränderungen. Ebenso bleibt sich das Urtheil über die natürlichen Magnete, welche wir hin und wieder in der Erdrinde antreffen, gleich, wie sich auch das über den großen Erdmagneten selbst gestalten mag; sie haben nämlich ihre Kraft unter dem Einfluß des letzteren erhalten, indem sie längere Zeit im magnetischen Meridian gelegen sind, gleichwie auch ein Stück Stahl zum Magnet werden kann, wenn es gehörige Zeit in der Richtung der freien Magnetnadel dem Einfluß der Erde ausgesetzt war.

X.

Das Erdinnere ein Heerd eigener Wärme.

In dem Polarlicht haben wir eine elektrische Lichtentwicklung kennen gelernt, in welcher „die Erde leuchtend wird und eines eigenen Lichtprozesses sich fähig zeigt", welcher in den Polargegenden fast ununterbrochen stattfindet, zuweilen aber über größere Erdstriche sich verbreitet. Wir haben schon im ersten Theil dieses Eigenlichts der Erde im Voraus gedacht, um darnach die eigenthümliche Erscheinung zu deuten, welche unter den übrigen Planeten Venus uns darbietet. Man hat auch noch an andere Beispiele irdischer Lichterzeugung erinnert, nämlich, abgesehen vom Blitz und von dem anhaltenden Wetterleuchten, an die bei Nacht leuchtenden trockenen Nebel (1783 und 1831), an den stillen (mit keinem Flimmern verbundenen) Lichtprozeß, den zuweilen große Wolken darbieten sollen, an das Leuchten des Meeres in den Tropenländern, welches übrigens organischen Ursprungs ist, von zahllosen Seethierchen herrührend (die nach Art der Johanniswürmchen Licht von sich geben). In so weit also kann von eigenem Licht der Erde die Rede sein, es braucht aber kaum bemerkt zu werden, daß es ein verschwindend kleines ist, nicht nur im Vergleich mit dem Selbstleuchten der Sonnen, sondern auch im Vergleich mit dem erborgten Licht der Erde.

Ungleich entschiedener ist die eigene Wärme, welche die Erde im Inneren besitzt, das unterirdische Feuer des gemeinen Bewußtseins. Während an der Erdoberfläche eine zwischen weiteren oder engeren Gränzen veränderliche Tempe-

ratur herrscht, welche auf Einstrahlung und Ausstrahlung beruht und sich in einem mittleren beständigen Wärmestand ausgleicht: findet man schon in geringer Tiefe eine unveränderliche Temperatur, und in größerer Tiefe ist dieselbe höher als jede Mitteltemperatur, die irgend an der Oberfläche vorkommt. Daraus geht wohl mit Nothwendigkeit hervor, daß diese innere Wärme der Erde nicht von außen kommen kann, sondern ihr selbst zukommt. Wenn sie aber heutzutage von geringem Einfluß auf die Temperaturen an der Oberfläche im Allgemeinen ist, worauf wir zurückkommen, so nehmen wir sie doch in zahlreichen Erscheinungen an der Oberfläche wahr, in welchen diese mit dem Inneren verkehrt (die vulkanischen Erscheinungen, wovon wir im nächsten Abschnitt handeln). Gleichwohl ist auch die entgegengesetzte Ansicht aufgestellt worden, daß alle Wärme der Erde eingestrahlt sei, dergestalt, daß sie sich in jenen größeren Tiefen nur darum unveränderlich erhalte, weil die Ausstrahlung fehle, und daß sie keineswegs der Erdmitte zu fortwährend zunehme, vielmehr nur den nächsten Schichten innerhalb der Oberfläche inwohne. Allein dann müßte doch wohl z. B. die Temperatur des Sandes in der Wüste Sahara bei senkrechtem Sonnenstand höher sein, als die der unterirdischen Schichten, aus denen in Island der Geyser sein dampfendes Wasser auf gefrorenen Boden ausschüttet! Dann könnte bei uns z. B. die innere Temperatur blos im Winter, nicht aber im Sommer höher sein als die äußere! Kurz, wenn etwas uns feststeht, so ist es der Satz, daß das Innere der Erde ein Heerd eigener Wärme ist, und wahrscheinlich wenigstens ist es, daß diese höhere Temperatur nach der Erdmitte zu stets zunimmt, doch nicht gewiß, wie denn überhaupt die Vorstellung, die wir uns hiernach vom Zustand der Materie im Erdinneren zu machen haben, große Schwierigkeiten hat. Ebenso werden wir kaum im Stande sein zu entscheiden, ob die innere Erdwärme der Ueberrest eines früheren höheren Wärmestandes des ganzen Körpers (ob das unterirdische Feuer ein Ueberrest einer Feuerperiode des Planeten), oder die Wirkung fortdauernder wärmeerzeugender Hergänge im Erdinneren sei; es kann aber

auch beides stattfinden, und wir werden auf die Anhaltspunkte dafür zurückkommen.

Ehe wir nun aber näher auf die Fragen eingehen, welche die innere Erdwärme darbietet, wird es unumgänglich sein, uns eine gedrängte Uebersicht über die Erfahrungen vorzuhalten, welche die Physiker über Ursachen und Wirkungen der Wärme überhaupt theils an natürlichen, theils und vornehmlich an künstlich hervorgerufenen Hergängen gesammelt haben. Dieß wird auch für die Betrachtungen des nächsten Buchs von mehrfachem Belang sein, und wir werden dabei hin und wieder auf das so vielfach mit der Wärme vergesellschaftete Licht zurückblicken, auf dessen Wesen wir schon im fünften Abschnitt zu sprechen kamen.

Die Grundwirkung der Wärme besteht in der Entfernung der Körpertheilchen von einander, wodurch die Dichtigkeit derselben sich vermindert, und womit bei gehöriger Steigerung auch Verminderung und Aufhebung ihres Zusammenhalts verbunden ist, die Ueberführung aus dem festen Zustand in den flüssigen und aus diesem in den gasigen. Die Wärme strebt die Materie zu verflüchtigen, in den dünnsten und lockersten Zustand zu versetzen, dessen sie fähig ist. Wir unterscheiden aber von der Zustandsänderung die bloße Dichtigkeitsänderung ohne merkliche Aenderung des Zustands. Hier ist das bekannte Grundgesetz, daß jede Vermehrung der Wärme die Körper ausdehnt, jede Verminderung sie zusammenzieht, worauf auch bekanntermaßen die Wärmemessung (die verschiedenen Arten von Thermometern) beruht. Man muß indeß beifügen, einmal daß jenes Gesetz in der Nähe des Wärmegrads, bei dem die Zustandsänderungen eintreten, Ausnahmen erleidet, wovon das Wasser das glänzendste Beispiel darbietet, welches bei etwas über 3 Grad (nach dem 80theiligen Thermometer, das wir stets voraussetzen, fast 4 Grad nach der 100theiligen Skale) seine größte Dichte besitzt und sich von hier an bis zur Verwandlung in Eis wieder ausdehnt; alsdann daß die Ausdehnung der einzelnen Stoffe keineswegs gleichen Schritt mit der Temperaturerhöhung hält, indem z. B.

Wasser unter gleicher Wärmezufuhr bei höherem Wärmegrad stärker sich ausdehnt als bei niedrigerem. Auch andere feste und flüssige Stoffe verhalten sich gleicherweise; dagegen giebt es beträchtliche Strecken gleichförmiger Ausdehnung, z. B. beim Quecksilber von 20 Grad unter bis 120 Grad über Null, worauf eben die Brauchbarkeit des gewöhnlichen Thermometers beruht. Nur die Gase scheinen eine mit der Wärmezufuhr vollkommen gleichen Schritt haltende Ausdehnung darzubieten, zugleich ist ihre Ausdehnung bei weitem die stärkste, dergestalt daß sie bis zu Vervielfachung ihres ursprünglichen Rauminhalts gehen kann, während die festen und flüssigen Stoffe ihren Rauminhalt nur um kleinere Bruchtheile desselben ändern; endlich ist die Größe der Ausdehnung für alle Gase bis auf sehr unbeträchtliche Verschiedenheiten die gleiche und beträgt etwas über $^1/_3$ des ursprünglichen Rauminhalts für eine Temperaturerhöhung vom Schmelzpunkt des Eises bis zum Siedpunkt des Wassers.

Wie sehr die Verdünnung der Körper durch Erwärmung, ihre Verdichtung durch Erkältung zum Wesen der Wärme gehört, erhellt vollends daraus, daß auch das Umgekehrte stattfindet, d. h. daß Wärmeerhöhung durch Verdichtung, Wärmeerniedrigung durch Verdünnung der Körper bewerkstelligt wird. Merklich wird dieß aber hauptsächlich nur bei den Gasen wegen des großen Spielraums, den ihre Verdünnung und Verdichtung darbietet. Plötzliche Verdichtung eines Gases steigert die Temperatur so sehr, daß brennbare Stoffe sich entzünden, wie z. B. Feuerschwamm in rasch verdichteter Luft, wie das Wasserstoffgas selbst, welches am Platinaschwamm des bekannten chemischen Feuerzeugs verdichtet wird. Ebenso zeigt sich Temperaturerniedrigung bei rascher Verdünnung eines Gases, z. B. unter der Luftpumpe. Wenn also Verdünnung der Körper eine wesentliche Wirkung der Wärme ist, so gehört auch umgekehrt Verdichtung der Körper zu den Ursachen der Wärme.

Aehnliche Wechselverhältnisse finden zwischen der Wärme und den Aenderungen des Zustands oder des Zusammenhalts statt; wie die Ueberführung der Stoffe in den zusam-

menhaltloseren Zustand eine zweite Hauptwirkung der Wärme ist, so gehört wiederum der entgegengesetzte Uebergang zu den Ursachen der Wärme. Da die mit diesen Hergängen verknüpften Erscheinungen auch für das nächste Buch des Kosmos von größtem Belang sind, so können wir nicht umhin, hier näher darauf einzugehen, und beginnen mit dem Uebergang aus dem festen (starren) Zustand in den flüssigen und umgekehrt.

Bekanntlich giebt es zahlreiche Stoffe, welche bei einem bestimmten Wärmegrad sich anschicken, aus dem festen Zustand in den flüssigen überzugehen, d. h. zu schmelzen, und wenn wir mit unseren Mitteln das Schmelzen nicht bei allen festen Körpern zu bewerkstelligen vermögen, so folgt daraus noch keineswegs die Unmöglichkeit. Die Verflüssigung fester Körper kann aber auch ohne Wärmezufuhr dadurch erfolgen, daß eine Flüssigkeit zwischen die Atome des festen Körpers eindringt und sie so zu sagen verschwemmt, d. h. durch Auflösung; auch hier kommt indeß die Wärme insofern in's Spiel, als eine Flüssigkeit bei höherer Temperatur mehr von einem festen Stoff aufzulösen vermag, um gesättigt zu werden, als bei niedererem Wärmegrad. Wie aber auch der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand bewerkstelligt werden mag, so wird dabei Wärme gebunden, d. h. es ist eine gewisse Wärmemenge zu diesem Uebergang selbst erforderlich, ohne daß dadurch die Temperatur erhöht wird, der flüssige Zustand bedarf zu seinem Bestehen mehr Wärme als der feste (die „latente" Wärme der Flüssigkeiten). Um z. B. ein Pfund Eis von der Temperatur Null in ein Pfund Wasser von derselben Temperatur zu verwandeln, bedarf man so viel Wärme, womit ein Pfund Wasser von Null bis 60 Grad erwärmt werden kann, weßhalb man sagt, die gebundene Wärme des Wassers betrage 60 Grad. Darauf beruht die erkältende Kraft der Auflösung oder überhaupt jeder Verflüssigung, die ohne fortwährende Wärmezufuhr vor sich geht, denn alsdann wird die zu derselben erforderliche Wärme den umgebenden Körpern entzogen, und ihre Temperatur erniedrigt sich (die Kälte-

mischungen vom Zuckerwasser bis zum Gemenge von Eis und Salz). Bei dem entgegengesetzten Uebergang dagegen, dem Erstarren (Gefrieren) der Flüssigkeiten, wird die gebundene Wärme wieder frei, der Hergang wirkt also erwärmend, und eine Flüssigkeit muß unter den Schmelzpunkt erkältet werden, wenn das Erstarren fortdauern soll. Geht der Uebergang langsam vor sich, durch allmäliges Erkalten des geschmolzenen Stoffes oder durch Verdunsten der auflösenden Flüssigkeit, so krystallisirt der Stoff, während die Annahme der regelmäßigen Gestalt ausbleibt bei jähem Erkalten, sowie bei Fällung eines festen Stoffes aus einer Flüssigkeit.

Ungleich verwickelter sind die Hergänge, welche die Ueberführung aus dem flüssigen in den gasigen Zustand und umgekehrt begleiten, denn hier spielt außer der Wärme der Druck, unter welchem die betreffenden Stoffe stehen, eine bedeutende Rolle. Wir werden zwar von dem allgemeinen Druck an der Erdoberfläche, dem Luftdruck, welcher die Rolle einer eigentlichen irdischen Kraft spielt, erst später an der gehörigen Stelle handeln, allein sein Dasein und seine Messung durch's Barometer wird als ein allgemein Bekanntes vorausgesetzt werden dürfen. Ob der Druck auch auf die Hergänge des Schmelzens und Erstarrens Einfluß hat, darüber geben unsere Erfahrungen an der Erdoberfläche nichts Entscheidendes an die Hand; indeß möchte man aus Luftpumpenversuchen schließen, daß Verminderung des Drucks den Gefrierpunkt erniedrigt, und daß daher vielleicht auch Vermehrung des Druckes ihn erhöhen dürfte, so daß also bei sehr hohen Drucken, wie sie im Inneren der Erde stattfinden müssen, Körper bei Wärmegraden fest bleiben möchten, welche ihre Schmelzpunkte an der Erdfläche weit übersteigen. Auf der anderen Seite ist die Erfahrung nicht zu verhehlen, welche unseren Schluß wieder etwas schwächt, daß auch ohne Druckverminderung Wasser (bei vollkommen ruhiger Oberfläche) mehrere Grade unter Null erkältet werden kann, ohne daß es gefriert, was alsdann bei einer Erschütterung plötzlich erfolgt, und wobei das Thermometer auf Null steigt.

Alle Flüssigkeiten verwandeln sich von ihrer freien Oberfläche aus in Gas oder sie verdunsten (verdampfen) bei jeder Temperatur und jedem Druck, auch gefrorne Flüssigkeiten verdunsten; aber die Spannkraft der Dünste oder der Druck, den sie auszuüben vermögen, mithin auch die Menge des Dunsts, der sich in einem bestimmten Raum bildet, hängt von der Temperatur ab, dergestalt daß sie mit dieser zunimmt. Der Druck aber, unter welchem die vergasende Flüssigkeit steht, hat, wenn er größer ist, als die der stattfindenden Temperatur entsprechende Spannkraft, die Folge, daß die Vergasung nur allmälig an der Oberfläche von statten geht, und dieß eben ist die sogenannte Verdunstung im Gegensatz zu der eigentlichen Verdampfung oder der plötzlichen Vergasung, welche eintritt und dann nicht auf die Oberfläche der Flüssigkeit beschränkt ist, wenn der Wärmegrad der Flüssigkeit eine dem äußeren Druck zum mindesten gleiche Spannkraft der sich bildenden Dämpfe zur Folge hat. Alsdann siedet die Flüssigkeit, und jener Wärmegrad ist der dem betreffenden Druck entsprechende Siedpunkt der Flüssigkeit. Der Siedpunkt hängt also bei jeder Flüssigkeit genau vom Druck ab, unter dem sie steht; je größer dieser ist, desto höher ist der Siedpunkt, desto heißer und gespannter sind die sich bildenden Dämpfe, desto auffallender sind die Wallungen beim Sieden. Gemeinhin versteht man allerdings unter Sieden den Zustand einer Flüssigkeit, wo sie unter dem gewöhnlichen Luftdruck verdampft, allein auch dieser Siedpunkt ist nach Maßgabe des Luftdrucks verschieden, und die Dämpfe, welche auf diese Weise sich bilden, haben die Spannkraft, welche der jeweilige Barometerstand mißt. Auf welche Art nun immer die Vergasung einer Flüssigkeit vor sich geht, so wird Wärme dabei gebunden, und diese wird bei der Verflüssigung der Gase wiederum frei; hierauf beruht aber die erkältende Kraft des Verdunstens (überhaupt des Vergasens ohne Wärmezufuhr, die Verdunstungskälte), sowie die erwärmende Kraft des Dampfniederschlags (Dampfheizung). Die „latente" Wärme des Wasserdampfs (Dampfs schlechthin) ist so groß, daß zur Verwandlung von einem Pfund Wasser von 80 Grad in

ein Pfund Dampf von derselben Temperatur so viel Wärme erforderlich ist, womit ein Pfund Wasser von Null auf 420 Grad oder über 5 Pfund Wasser vom Gefrierpunkt bis zum (gewöhnlichen) Siedpunkt erwärmt werden kann.

Wie nun die Vergasung der Flüssigkeiten sowohl von der Temperatur als vom Druck bedingt ist, dergestalt daß insbesondere das Sieden ebensowohl durch Temperaturerhöhung als durch Druckverminderung bewerkstelligt werden kann, so kommt auch die Verflüssigung der Gase oder der Niederschlag der Dämpfe im Allgemeinen ebensowohl durch Temperaturerniedrigung als durch Druckvermehrung zu Stande. Allein außer den sogenannten Dämpfen im engeren Sinn, d. h. den Dämpfen derjenigen Stoffe, welche im gewöhnlichen Zustand flüssig oder fest sind, kennt man nur sehr wenige Gase (wie z. B. das Chlor), das durch bloße Erkältung flüssig würde, woraus aber blos folgt, daß wir die Kältegrade nicht hervorzubringen im Stande sind, bei welchen die übrigen Gase flüssig würden. Wohl aber hat man bei vielen dieser sogenannten eigentlichen Gase die Verflüssigung durch bedeutende Druckvermehrung erzielt, und die Verdunstungskälte, welche sich z. B. beim Wiedervergasen der flüssigen Kohlensäure entwickelt, ist so beträchtlich, um ein schneeartiges Gefrieren desselben Stoffes zu veranlassen, so daß die ausströmende Kohlensäure im Verflüchtigen gefriert. Aber auch den Druckkräften, über welche der Physiker verfügen kann, haben mehrere Gase (wie die atmosphärische Luft selbst) bis jetzt widerstanden (die sogenannten „permanenten“ Gase), gleichwie es feste Körper giebt (wie die Kohle), welche bis jetzt allen unseren Hitzegraden unschmelzbar gewesen sind. Beim Niederschlag der Dämpfe und Dünste durch Erkältung nehmen dieselben häufig zunächst die Wolkenform (oder Rauchform) an, von der man sich die Vorstellung zu machen hat, daß es Flüssigkeitsbläschen mit außerordentlich dünnen Wandungen sind.

Während wir die Anwendung dieser Grundgesetze auf die atmosphärischen Hergänge einem späteren Abschnitt überlassen, müssen wir hier noch zu den erörterten Grundwirkungen der

Wärme ihre elektrischen und chemischen Erfolge fügen. Von jenen (der Thermoelektrizität) war schon im vorigen Abschnitt die Rede; über diese bemerken wir nur Folgendes. Die Wärme bewirkt ebensowohl chemische Zersetzungen als Verbindungen, und häufig verursacht sie verwickeltere Prozesse oder Stoffumwandlungen, indem die vorhandenen Stoffe zerlegt und aus diesen sogleich neue zusammengesetzt werden. Es giebt zahlreiche Stoffe, welche durch die Wärme in ihre Bestandtheile zerlegt werden; nicht minder zahlreich sind die Fälle, wo die Wärme als Gelegenheitsursache zur Verbindung zweier Stoffe zu einem dritten mitwirkt, so zu sagen die chemische Verwandtschaft weckend oder ihr Bahn brechend; bald hilft sie zur Orydation, bald zur Desorydation der Metalle u. s. w. Auch hier findet das Verhältniß der Gegenseitigkeit statt. Wie die Wärme Elektrizität hervorruft, so hat die Elektrizität thermische Erfolge, wovon schon im vorigen Abschnitt die Rede war; der Funke der elektrischen Entladung zündet, der elektrische Strom erhitzt, ja schmilzt seinen Leitungsdraht (wenn er gehörig dünn ist). Wie die Wärme eine höchst bedeutende Rolle in den chemischen Prozessen spielt, so gehören diese wieder zu den bedeutendsten Quellen von Wärmeentwicklung. Die meisten Hergänge, wodurch wir uns Wärme (sowie Licht) verschaffen, sind chemischer Natur, und was das gemeine Bewußtsein „Feuer" nennt, ist eben nichts Anderes, als ein mit Entwicklung von Wärme und Licht verbundener chemischer Prozeß.

Wir haben so vermöge der erörterten Gegenseitigkeit mit den Wirkungen der Wärme zugleich ihre Ursachen kennen gelernt, und haben zu denselben, nämlich zum chemischen und elektrischen Prozeß, zur Verdichtung der Gase und zur Ueberführung irgend welcher Stoffe aus dem loseren in den festeren Zustand, nur noch die Entwicklung der Wärme durch mechanische Erschütterung (Reibung, Stoß u. s. w.) hinzuzufügen. Von den Heerden der Wärmeentwicklung theilt sich die Wärme anderen Körpern mit, und die Wärmemittheilung geht sowohl bei unmittelbarer Berührung, als auf Ent-

fernung durch Strahlung vor sich. So findet überhaupt eine fortwährende Wärmeausgleichung zwischen wärmeren und kälteren Körpern statt, wobei jene erkalten, indem sie mehr Wärme abgeben als erhalten, diese erwarmen, indem sie mehr Wärme erhalten, als abgeben; ist die Ausgleichung wirklich eingetreten, so erhält jeder Körper so viel als er abgiebt, und man spricht von Gleichgewicht der Temperatur. In Beziehung auf das Empfangen und Abgeben der Wärme, das Erwarmen und Erkalten, verhalten sich aber die Körper auf sehr verschiedene Art, und man spricht von mehrerlei thermischen Vermögen, die den verschiedenen Stoffen in verschiedenem Grade zukommen.

Das erste ist das Fassungsvermögen für die Wärme (Wärmecapacität). Die Menge Wärme nämlich, wodurch die Temperatur eines bestimmten Stoffs um ein Bestimmtes erhöht wird, ist der Masse proportionirt, d. h. man bedarf z. B. sechsmal mehr Wärme, um sechs Pfund irgend eines Stoffes von 9 auf 15 Grad zu erwärmen, als um die Temperatur eines Pfundes von demselben Stoff um ebensoviel zu erhöhen. Verschiedene Stoffe aber bedürfen bei gleicher Masse verschiedener Wärmemengen, wenn dieselbe Temperaturerhöhung erzielt werden soll; z. B. ein Pfund Wasser bedarf 33mal mehr Wärme als ein Pfund Quecksilber für die gleiche Erhöhung des Wärmegrads. Deßhalb schreibt man jedem Stoff ein gewisses Fassungsvermögen für die Wärme zu, oder eine gewisse Eigenwärme (specifische Wärme), und man hat die Verhältnißzahlen für verschiedene Stoffe ermittelt, wobei man die Eigenwärme des Wassers zur Einheit genommen hat (wie es bei dem specifischen Gewicht die Einheit bildet). Das Wasser hat nicht nur unter allen festen und flüssigen Stoffen die größte Eigenwärme, sondern steht auch den meisten Gasen voran, wenn ihre Dichte nicht sehr gering ist, z. B. diejenige der Luft beträgt nur den vierten Theil von jener bei der dem Barometerstand von 28 Zoll entsprechenden Dichte. Uebrigens bleibt sich überhaupt das Fassungsvermögen eines und desselben Stoffes nicht gleich, sondern nimmt zu, wenn die Dichte abnimmt; es

nimmt also bei allen Stoffen etwas zu mit der Wärme; doch mag sich dieß bei festen und flüssigen Körpern insofern wieder ausgleichen, als auch die Ausdehnbarkeit mit der Temperatur zunimmt, wie wir oben bemerkt haben. Bei den Gasen aber ändert sich die Eigenwärme auch mit dem Druck, unter welchem sie stehen, da dieser die Dichte ebenfalls bedingt, und zwar, wie es scheint, nach dem allgemeinen Gesetz, daß sich die specifischen Wärmen umgekehrt wie die specifischen Gewichte verhalten, so daß also die Eigenwärme einer 4mal dünneren Luft 4mal größer wäre.

Dem Fassungsvermögen steht das Leitungsvermögen zur Seite, aber auch in innerem Zusammenhang mit demselben. Wenn ein Körper an einem Theil erwärmt wird, so verbreitet sich die höhere Temperatur in demselben weiter über die unmittelbar erwärmten Stellen hinaus, indem sich Theilchen für Theilchen erwärmt. Dieß nennt man Wärmeleitung, und man muß davon die Verbreitung der Wärme durch Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen wohl unterscheiden, denn hier sind es die erwärmten Stoffe selbst, welche sich bewegen, dort aber bewegt sich die Wärme. In der Wärmeleitung nun zeigen die Stoffe bedeutende Verschiedenheiten; man spricht von guten und schlechten Wärmeleitern, je nachdem jenes Fortschreiten der Erwärmung rasch von statten geht und weit sich erstreckt oder nicht. Dabei kommt es theils auf die Art an, wie die Theilchen eines Körpers angeordnet sind, theils und vornehmlich auf die Eigenwärme, dergestalt daß, je geringer diese oder das Fassungsvermögen, desto größer das Leitungsvermögen ist; allerdings halten aber die Verhältnißzahlen des letzteren nicht gleichen Schritt mit denen der Eigenwärme, eben weil noch etwas Anderes dabei in's Spiel kommt, nämlich der Atomenbau. Die besten Wärmeleiter sind auch die besten Leiter der Elektrizität, nämlich die Metalle, allein die beiden Leitungen decken sich nicht vollkommen, da Wasser z. B. zu den schlechteren Leitern der Wärme, aber zu den besseren der Elektrizität gehört. Die schlechtesten Wärmeleiter sind überhaupt Gewebe und Anmassungen aus einzelnen

Stücken (wie Asche, Schnee, Federn); schlechte Leiter sind ferner Wasser und Luft, aber auch Holz und Glas. Es ist leicht einzusehen, daß schlechte Wärmeleiter zur Erhaltung der Wärme, gute zur Erkältung benutzt werden können, und wenn ersteres Jedermann an Betten und Teppichen geläufig ist, so ist letzteres an der Sicherheitslampe gegen Schwaden in Kohlenbergwerken praktisch zu ersehen.

Man kann nun ermessen, wodurch die Mittheilung der Wärme von einem wärmeren an einen kälteren Körper bei unmittelbarer Berührung nach Menge und Schnelligkeit bedingt ist; nämlich einmal von der Menge der Berührungsstellen, alsdann von dem Leitungsvermögen und Fassungsvermögen beider Körper, aber auch endlich von dem Rauminhalt derselben, indem bei größerem Inhalt mehr Zeit zur Wärmeleitung erforderlich ist, bis es zum Ziel der Mittheilung kommt, d. h. zur Ausgleichung der Temperaturen. Wenn nun bei der Wärmeleitung der Fortschritt der Erwärmung langsam dadurch erfolgt, daß so zu sagen jedes der Wärmequelle nähere Theilchen die Wärmequelle für das entferntere ist: so pflanzt sich die Wärme auch strahlend wie das Licht (und häufig in dessen Gesellschaft) auf die größten Entfernungen mit außerordentlicher Geschwindigkeit fort, indem sie die Körper, die ihr überhaupt den Durchgang gestatten, durchdringt, ohne dieselben in obiger Weise zu erwärmen. Aber weit nicht alle Körper lassen die strahlende Wärme durch, sondern eben nur diejenigen, welche, wie Gase, Flüssigkeiten, glasige und krystallische Stoffe, auch vom Licht durchstrahlt werden; übrigens verhalten sich diese Stoffe gegen beide Strahlungen verschieden, so daß manche, welche das Licht nur in geringem Grad durchlassen, gute Durchwärmer sind und umgekehrt. Kein Stoff läßt die Wärmestrahlen vollkommen durch, sondern verschluckt auch, wie man zu sagen pflegt, mehr oder weniger Wärme, wodurch er selbst erwärmt wird, das Durchwärmungsvermögen und das Erwärmungsvermögen stehen bei ihnen in umgekehrtem Verhältniß. Auch die undurchstrahlbaren Körper verhalten sich gegen die Wärmestrahlung verschieden, indem die

einen die strahlende Wärme großentheils aufnehmen und wenig zurückwerfen, die anderen sie zum größeren Theil zurückwerfen; dieß hängt von der Oberfläche ab, dergestalt, daß Körpern mit dunkeln und rauhen Oberflächen ein großes Einstrahlungsvermögen und desgleichen auch umgekehrt ein großes Ausstrahlungsvermögen zukommt, wenn sie die höhere Temperatur besitzen, während den Körpern mit blanken und glatten Oberflächen diese Vermögen in geringem Grad zukommen, dagegen ein großes Zurückwerfungsvermögen. Jeder wärmere Körper strahlt nämlich beständig Wärme in den umgebenden kälteren Raum aus, wobei er erkaltet, und diese Wärmestrahlung geht mit um so beträchtlicherer Stärke vor sich, je größer der Temperaturunterschied ist, wozu dann noch der eben angezeigte Einfluß der Oberfläche kommt, von der die (dunkle) Strahlung ausgeht.

Die Strahlung von Wärme und Licht ist nicht nur häufig verbunden (dergestalt daß die mit Licht verbundene Wärmeentstrahlung stärker ist als die dunkle), sondern beide Strahlungen gehen auch nach denselben Gesetzen vor sich und erleiden beim Durchgang durch verschiedene Mittel und beim Zusammentreffen mit den Körpern gemeinschaftliche Aenderungen: nicht nur Zurückwerfung und Brechung, welche von Brennspiegeln und Brenngläsern her sattsam bekannt sind, sondern auch Beugung (d. h. Ablenkung beim Vorübergang an Rändern undurchstrahlbarer Körper, von welcher z. B. bei der Lichtstrahlung die Farben herrühren, die man durch feine Gewebe wahrnimmt), Interferenz und Polarisation (von denen wir im fünften Abschnitt eine kleine Andeutung gegeben haben). Man kann beifügen, daß es sich mit der Schallstrahlung ebenso verhält, allein das Genauere aus der umfangreichen Lehre von den Gesetzen der Strahlung, welche hiernach dreierlei Gebiete von Erscheinungen umfassen, kann nicht Sache des Kosmos sein, so wenig als die Besonderheiten, die wieder ein jedes dieser Gebiete darbietet.

Durch die Wahrnehmungen über die strahlende Wärme, die in dem angedeuteten Umfang hauptsächlich der neueren Zeit

angehören, ist die Wärme dem Licht noch näher gerückt, als durch die Vergesellschaftung beider, die besonders in der gemeinschaftlichen Entwicklung derselben beim chemischen und elektrischen Prozeß hervortritt. Dieß hat aber zu der Ansicht geführt, daß zunächst die strahlende Wärme ebenso wie das Licht auf Aetherschwingungen beruhen möge, nur daß den Wärmeschwingungen andere (nämlich kleinere) Geschwindigkeiten zukommen als den Lichtschwingungen, von denen wir im fünften Abschnitt gehandelt haben, wie auch daß, während die letzteren Allem nach nur in Richtungen rechtwinklig zu den Strahlen erfolgen, die ersteren alle möglichen Richtungen, namentlich auch parallel den Strahlen, haben dürften. Wenn man aber so die Wärmestrahlung für eine Bewegung des Aethers zu erklären geneigt ist, so müssen hierauf alle Wärmeerscheinungen zurückgeführt werden, und wir haben uns den Zustand eines warmen Körpers so vorzustellen, daß der Aether, welcher, wie wir früher gesehen haben, alle Körper, ihrem Atomenbau sich anschmiegend, durchdringt, in einer Art von wallender Bewegung zwischen den Atomen des Körpers begriffen ist, wodurch diese von einander entfernt, beziehungsweise in ihrem Zusammenhalt gestört werden, Erfolge, in welchen wir eben die Grundwirkungen der Wärme erkannt haben. Während aber die Strahlung lediglich auf Mittheilung der wallenden Bewegung an den umgebenden Aether und so weiter beruhte, so wäre bei der Wärmemittheilung durch Berührung und Wärmeleitung an wirklichen Uebergang des wallenden Aethers zu denken, und die Wärmebindung daraus zu erklären, daß der übergegangene Aether plötzlich seine Bewegung verlöre beim Eintritt des neuen Atomenbaus, der dem flüssigen oder gasigen Zustand eines Stoffes zukommt.

Allerdings bleiben bei dieser Ansicht vom Wesen der Wärme derzeit noch manche Fragen zurück, allein man wird zugeben müssen, daß dieselbe in ganz anderem Sinn eine Erklärung der Wärmeerscheinungen darbietet, als die Annahme eines „Wärmestoffs", durch welche eigentlich die Erscheinungen blos umschrieben werden. Dasselbe haben wir schon im vorigen

Abschnitt gegen die elektrischen (und magnetischen) Flüssigkeiten geltend gemacht, mit welchen die Physiker eine gewisse Einheit in die Darstellung der dort behandelten Erscheinungen zu bringen pflegen. Nach unserem jetzigen Standpunkt und nach dem innigen Zusammenhang der Wärme mit den elektrischen Hergängen müssen wir geneigt sein, auch die Elektrizität nur wieder auf Zustände des Aethers zurückzuführen, die in verschiedenen Körpern verschieden sein (verschiedene Dichte, verschiedene Spannung u. s. w.) und von Seiten derselben (bei Berührung, Reibung u. s. w.) allerhand Einflüsse erleiden mögen, namentlich eine Polarisation des Aethers, in welche wir den elektrischen Gegensatz zu setzen hätten. So kämen alle jene sogenannten „Imponderabilien“ auf Bewegungen und Veränderungen eines einzigen unwägbaren Stoffs, unseres Weltäthers, zurück; eine zwar noch unausgebildete, aber vielversprechende Theorie, die wir schon früher angedeutet haben.

Wir dürfen die Lehre von der Wärme nicht schließen, ohne noch von zweierlei Wahrnehmungen neuerer Zeit zu sprechen; wir meinen das sogenannte unsichtbare Licht und den seinsollenden Umsatz von mechanischer Bewegung in Wärme. Zu der seltsamen Annahme von unsichtbarem Licht haben die Moserschen Bilder geführt, d. h. die Wahrnehmung von Moser bei seinen Forschungen über das Daguerresche Lichtbild, daß die Oberflächen der Körper in längerer Zeit und bei gehöriger Nähe sich aufeinander abbilden, ohne den Grad von umgebendem Licht, den wir Helligkeit nennen, vielmehr bei einem Mangel an Beleuchtung, den wir als Finsterniß anzusprechen kein Bedenken tragen; so findet man in Uhren mit zwei Gehäusen, die einander sehr nahe liegen, irgend welche Eingrabungen, die sich am inneren Gehäuse befinden, auf der gegenüberliegenden Seite des äußeren Gehäuses ganz deutlich abgebildet, deßgleichen Kupferstiche auf den Glastafeln, hinter denen sie lange Zeit eingerahmt waren. Die so entstandenen Bilder theilen mit dem Lichtbild die Eigenschaft, daß sie erst sichtbar werden durch Niederschlag von Dämpfen an den veränderten Theilen der Oberfläche; beim

Lichtbild wirkt nämlich bekanntlich das Licht chemisch auf die jodirte Silberplatte ein, welche man in die dunkle Kammer gebracht hat, und zwar an verschiedenen Stellen in verschiedenem Grade, so daß ein Bild des lichtstrahlenden Gegenstands entsteht, welches alsdann dadurch sichtbar wird, daß an den Stellen, wo durch die chemische Wirkung des Lichts metallisches Silber in verschiedenem Grad ausgeschieden worden ist, Quecksilberdämpfe in verschiedenem Grad verdichtet werden, vermöge des Anhängungs- und Auflösungsbestrebens, welches dem Quecksilber gegenüber dem Silber zukommt. Ebenso werden die Moserschen Bilder z. B. durch Anhauchen sichtbar, überhaupt aber durch jeden Dampfniederschlag; sie sind ferner verkehrt, aber nicht wie diejenigen, welche durch winzige Oeffnungen oder durch Linsen entstehen (z. B. im Auge, in der dunklen Kammer), bei denen nicht nur Rechts und Links, sondern auch Oben und Unten vertauscht ist, sondern wie bei Spiegelbildern und Abdrücken aller Art, so daß nur Rechts und Links sich vertauscht findet. Man wollte nun diese Bilder durch eine Strahlung erklären, also nach dem Standpunkt der Wellenlehre durch „unsichtbare Aetherschwingungen“, welche wieder von den Einen für Wärmeschwingungen, von Moser selbst aber für Lichtschwingungen erklärt worden sind, und der Letztere faßte weiterhin sogar als das Grundwesen des Lichts diese Wirkung auf, nämlich eine durch Niederschlag von Dämpfen sich kundgebende Veränderung der Oberflächen der Körper.

So wenig wir aber unsichtbare Aetherschwingungen und Strahlungen in Abrede stellen, ja selbst solche zugeben möchten, die weder als Wärme, noch als (sichtbares) Licht sich kundgeben, so ist uns doch das „unsichtbare Licht“ eine reine unbewiesene Voraussetzung, und wir sind überzeugt, daß die Moserschen Bilder gar nicht durch Strahlung entstehen, vielmehr eine Art von Abdrücken oder Abklatschbildern sind. Die Körper haben nämlich im Allgemeinen die Fähigkeit, Gase anzuziehen und an ihrer Oberfläche zu verdichten, der eine mehr als der andere, jeder wiederum für das eine Gas mehr als für das andere, wie z. B. Platinaschwamm einen Strom

Wasserstoffgas so rasch verdichtet, daß dieses sich entzündet. Einen solchen Körper hat man sich daher vorzustellen als umgeben mit einer Schicht verdichteten Gases nach Art einer Atmosphäre. Entzieht man nun einer mit einer solchen Atmosphäre versehenen Platte an einer Stelle das verdichtete Gas durch die Berührung (oder gehörige Annäherung) eines anderen Körpers, der für dasselbe ein noch stärkeres Anschluckungsvermögen besitzt, so hinterläßt daselbst die berührende Oberfläche eine Spur, eine Art Bild, die durch Verdichtung eines Dampfes, z. B. durch Anhauchen, sichtbar gemacht wird. Die „Atmosphären", von denen wir gesprochen, vertreten also hier gleichsam die Stelle des Abklatschstoffes (wie der Druckerschwärze) bei den Abdrücken aller Art, und wir setzen ohne Bedenken diese durch zahlreiche Versuche so gut als bewiesene Abdrucktheorie der ebenso unbewiesenen als verdächtigen Hypothese vom unsichtbaren Licht gegenüber. Uebrigens hätten wir diese Abschweifung uns nicht erlaubt, wenn nicht auch Humboldt den Moserschen Bildern eine Stelle in dem allgemeinen Naturgemälde eingeräumt und des unsichtbaren Lichts mit einem Fragezeichen Erwähnung gethan hätte.

Die Thatsache von der Wärmeentwicklung durch alle Arten von mechanischer Erschütterung (Reibung, Stoß u. s. w.) können wir uns nach unserer Ansicht vom Wesen der Wärme recht gut zurechtlegen, indem dadurch eben der die Körperatome umhüllende Aether in die als Wärme sich kundgebende Bewegung versetzt wird. Auch dürfen wir erwarten, daß die lebendige Kraft dieser Bewegung, der Betrag der in's Spiel gesetzten mechanischen Arbeit, der entwickelten Wärmemenge verhältnißmäßig entsprechen werde. Dieß haben Versuche, die in neueren Zeiten (unter andern auch von dem am Schluß des achten Abschnitts erwähnten Mayer) angestellt worden sind, in der Art dargethan, daß dabei auf die Natur der in Berührung gesetzten Stoffe, sowie auf die Art der Bewegung nichts ankomme, sondern daß es lediglich die in's Spiel gesetzte lebendige Kraft sei, von der die Menge der Wärme abhänge. Man ist aber von hier aus noch weiter fortgegangen und hat

die Bewegung überhaupt für ein „Aequivalent der Wärme“ erklärt; jede Bewegung nämlich, die durch einen Widerstand aufgehoben werde, soll in eine ihrer lebendigen Kraft entsprechende Menge von Wärme umgesetzt werden, so z. B. der Fall eines Körpers auf den Erdboden. Diese Behauptung erscheint uns jedenfalls als gewagt und unsicher, indem wir nur die Größe der Atomerschütterung eines Körpers als maßgebend für die dadurch erzeugte Wärme betrachten können, nicht aber die Bewegung an sich, die etwa jener Erschütterung zu Grunde liegt, wie die Fallbewegung dem Zusammenstoß mit dem Erdboden. Diesen seinsollenden Umsatz von Bewegung in Wärme setzt der obengenannte Schriftsteller bei der seiner Zeit erwähnten Muthmaßung über die Erhaltung des Sonnenbrandes (sowie der Sonnenmasse) durch den „beständigen Asteroidenhagel“ voraus. Ebenso sucht derselbe die ehemalige höhere Temperatur der gesammten Erde aus dem Zusammensturz verschiedener, mindestens zweier Stücke herzuleiten, wovon sich wieder die noch jetzt stattfindende höhere Temperatur im Inneren herschreibe. Wir lassen das nicht minder dahingestellt sein, als die Muthmaßung über die Sonnenwärme, obgleich wir nach der im siebenten Abschnitt erörterten Ansicht von der Entstehung der Planeten geneigt sind, sie als aus mehreren Stücken (Trümmern eines Rings) zusammengeballt zu betrachten.

Wir kehren hiemit zu der inneren Erdwärme zurück. Schon oben wurde die Frage aufgeworfen, ob unser sogenanntes unterirdisches Feuer der Ueberrest der ursprünglichen Erdwärme, oder ob es fortwährend durch chemische Prozesse erhalten werde, die im Inneren vor sich gehen. Nach der ersten Ansicht, welcher bei weitem die meisten Forscher huldigen, ist die Erde aus dem gasigen in den feuerflüssigen und aus diesem von der Oberfläche aus in den starren Zustand übergegangen, dergestalt daß sie unter der erstarrten Kruste noch jetzt im flüssigen Zustand sich befände. Betrachten wir zuerst den letzteren Punkt näher, denn durch die Schwierigkeiten, welche das flüssige Erdinnere macht, sind eben manche

Forscher veranlaßt worden, die Vorstellung vom unterirdischen Feuer aufzugeben und die Geschichte der Erde anders sich zu denken. Zu dem Behuf sehen wir zunächst, was die Erfahrung über die Zunahme der Temperatur nach innen gelehrt hat.

Die Veränderungen der Wärme, welche vom Stand der Sonne abhängen, erstrecken sich in den Boden hinein, aber bei zunehmender Tiefe mit immer kleinerem Spielraum (unsere Keller), so daß in einer gewissen Tiefe eine beständige Temperatur eintritt, welche von der senkrecht darüber an der Oberfläche herrschenden Mittelwärme wenig abweicht. Die Tiefe der beständigen Temperatur ist um so beträchtlicher, je größer der Spielraum der Wärme an der Oberfläche ist; sie ist sehr gering am Aequator, wo überdieß nur der tägliche Kreislauf größeren Einfluß hat, und beträgt in unseren mittleren Breiten in der Regel 60 bis 70 Fuß, um den Polen zu noch mehr zuzunehmen, so daß also die Dicke der Schicht, in welcher die veränderlichen Temperaturen herrschen, vom Aequator nach den Polen zu wächst. Geht man von der Fläche der beständigen Temperatur, welche die genannte Schicht unten begränzt, weiter einwärts, so nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu, während sie für jede bestimmte Tiefe sich Jahr aus Jahr ein gleich bleibt, und zwar in unseren Gegenden etwa um 1 Grad für jede 100 bis 150, im Mittel 130 Fuß. Dieß ist aber nur eine ungefähre Angabe, und die Tiefe ist nicht nur in verschiedenen Breiten verschieden, sondern auch bei einerlei Breite von mancherlei Umständen bedingt, wie von der Meereshöhe, von der Bodengestaltung, von der thermischen Natur der Felsarten. Auch darf man kaum voraussetzen, daß die Wärmezunahme mit der Tiefe gleichmäßig wachse, vielmehr drückt jene Angabe nur die Erfahrung darüber innerhalb der Schicht aus, in welche man wirklich eingedrungen ist, und weiterhin mag die Zunahme nach einem ziemlich anderen Maßstab vor sich gehen. Bei gleichmäßiger Zunahme wäre die Temperatur in einer Tiefe von 7 Meilen bereits dem Schmelzpunkt des Eisens und Basalts gleich, und man hat diejenige, in welcher die meisten der

bekannten Felsarten flüssig sein müßten, zu höchstens 37 Meilen geschätzt, was den 23sten Theil des Erdhalbmessers ausmacht.

Von einem Gesetz der Wärmezunahme kann noch keineswegs die Rede sein, man hat sich indeß bemüht, ein ungefähres Bild von dem Zuge der Flächen unterhalb des festen Erdbodens zu entwerfen, in welchen alle Punkte gleicher Temperatur liegen; dieß sind die sogenannten Chthonisothermflächen, die im Allgemeinen stärker als die Oberfläche abgeplattete Rundflächen sein werden, da vom Aequator nach den Polen zu die Tiefe fortwährend zunehmen muß, in welcher eine gewisse Temperatur stattfindet. Allein in Wirklichkeit müssen jene Flächen von dieser regelmäßigen Gestalt durch mannigfaltige Biegungen nach außen und innen abweichen. Abwärts von den Landeserhebungen der Oberfläche wölben sie sich nach außen, aber schwächer als die Oberfläche selbst, denn man muß hier ohne allen Zweifel verhältnißmäßig tiefer eindringen, um zu derselben Temperatur zu gelangen, als abwärts von Niederungen. Abwärts von den Wasserbecken aber muß die Wölbung nach innen erfolgen, denn ohne Zweifel ist die Temperatur am Boden der Seen und Meere eine niedrige, da das kältere, also schwerere Wasser stets nach den unteren Stellen sich begiebt, allein die Wölbung wird schwächer sein, als die des Beckengrundes selbst, weil dem erkälteten Seegrund nicht nur von unten, sondern auch von den Seiten her Wärme zugeführt wird, weßhalb ohne Zweifel die Temperatur hier schneller zunimmt als unter dem trockenen Erdboden. Während also zwar unter Gebirgen die Temperatur langsamer zunimmt, unter Wasserbecken schneller, so werden dagegen diese Einflüsse der Oberfläche mit wachsender Tiefe mehr und mehr verschwinden und damit die Biegungen unserer Flächen, so daß sie von einer gewissen Tiefe an nahezu ellipsoidisch sein werden. Unter den Flächen, von welchen wir hier nach Studer handeln, ist endlich eine bemerkenswerth, unter welche kein Wasser eindringen kann, die untere Wassergränze; denn das eindringende Wasser muß in Dampf übergehen, sowie der Druck, unter dem es steht, geringer wird, als die seiner Temperatur

entsprechende Spannkraft des Dampfs, diese Temperatur ist aber eine höhere als der Siedpunkt an der Oberfläche wegen des nach innen zunehmenden Drucks. Man hat gewagt, trotz der Unbekanntschaft mit den zu Grunde liegenden Gesetzen und Verhältnissen, jene Tiefe ungefähr zu schätzen und dritthalb Meilen annehmen zu dürfen geglaubt.

Was nun auch das Gesetz der Wärmezunahme im Inneren der Erde sein mag, so ergeben sich wesentlich andere Verhältnisse von da an, wo wegen der höheren Temperatur der geschmolzene Zustand der Massen beginnt. Denn in dieser Flüssigkeit werden Strömungen stattfinden, indem die kältere obere Flüssigkeit einsinkt, um der wärmeren unteren Platz zu machen, so daß sich also in einer Schicht, wo solcher Austausch stattfindet, die Temperatur ausgleichen würde. Der Austausch aber würde seine Gränze jedesmal da haben, wo schwerere geschmolzene Massen das weitere Eindringen der leichteren verhindern. Man wird sich auch nicht verhehlen, daß die Wärmebindung des Schmelzens und Verdampfens an der Gränze der starren Rinde und an der Wassergränze außerordentliche Verhältnisse in die Temperaturzunahme bringt. Nimmt man dazu noch den ebenfalls nach innen zunehmenden Druck, welcher sich zu einem außerordentlichen Betrag steigern muß, und auf Dichte und Zusammenhalt der Stoffe beträchtlichen Einfluß üben mag: so muß man bekennen, daß man sich nicht leicht eine Vorstellung von dem Erdinneren machen kann, daß die Stoffe unter wesentlich anderen Bedingungen stehen, worauf keine Uebertragung unserer Erfahrungen an der Oberfläche stattfindet. In der That, man könnte unter solchen Erwägungen fragen, ob nicht trotz der hohen Hitzegrade selbst Metalle in starrem Zustande beharren könnten, ob nicht jenseits einer mehr oder minder mächtigen geschmolzenen Schicht wieder ein starrer Erdkern vorhanden sein möchte, ob nicht der ungeheure Druck allein die größere Dichtigkeit zur Folge haben dürfte, welche die mittlere Dichte der Erde für die inneren Massen fordert, ohne daß es also nöthig wäre, an ein vorherrschend metallisches Inneres zu denken u. s. w.

An die Erwägung des Drucks im Erdinneren knüpft sich aber noch eine Betrachtung. In einer flüssigen Masse wirkt ein Druck, sei es ein äußerer, sei es der, den die Flüssigkeit vermöge ihrer eigenen Schwere ausübt, nach allen Richtungen; nicht nur der Boden eines Gefässes, sondern auch seine Seitenwandungen erfahren den Druck, der mit der Tiefe unter der Oberfläche zunimmt, und eingetauchte Körper erleiden ihn auch von unten nach oben, dergestalt daß untersinkende Körper um das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit leichter werden, schwimmende Körper aber so tief eintauchen, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit dem des ganzen Körpers gleichkommt. Der Druck des flüssigen Erdinneren geht also auch nach außen auf die Kruste, welche verhältnißmäßig dünn ist, da der geschmolzene Zustand nach obigem schon in einer Tiefe von 7 Meilen beginnen dürfte (ja nach anderen Schätzungen wäre selbst eine Granitschicht schon in der Tiefe von 5,2 Meilen geschmolzen!). Man hat gefragt, ob die Erdrinde dem gewaltigen Druck Widerstand zu leisten vermöchte und nicht vielmehr gesprengt werden sollte; man hat überdieß an die Fluthen der unterirdischen Flüssigkeit erinnert, welche die Anziehung von Sonne und Mond gleichwie bei dem Meer veranlassen würde.

Hauptsächlich aus solchen Gründen hat man den flüssigen Zustand des Erdinneren bezweifelt und deßhalb auch das allmälige Erkalten von außen nach innen von dem feuerflüssigen Zustand des ganzen Erdkörpers aus bedenklich gefunden, zumal da die außen erstarrten Massen ohne Zweifel haben untersinken müssen, weßhalb es eher wahrscheinlich sei, daß die Erde von innen heraus erstarrt sei. Allein man vergißt in der letzteren Einwendung, daß jenes Untersinken nur bis zu einer gewissen Tiefe gehen durfte nach Maßgabe der nach innen zu wachsenden Dichtigkeit der Massen, und daß dann eben um so schneller eine hinreichend dicke Kruste sich zu bilden vermochte, um der allgemeinen (keineswegs einer theilweisen) Zertrümmerung Widerstand zu leisten. Auch sind die Berechnungen, die man über die Dicke der starren Erdrinde wagte, keineswegs sicher, wie

aus obigen Bemerkungen über die Unstatthaftigkeit der Schlüsse von der Oberfläche aufs Innere, sowie auch daraus hervorgehen mag, daß andere Berechnungen den geschmolzenen Granit in die ungleich größere Tiefe von etlichen und dreißig Meilen setzen. Man hat endlich diesen Punkt auch noch von einer anderen Seite untersucht und rechnende Forschungen angestellt über den Einfluß, den der Zustand des Erdinneren auf die Präcession haben müßte, je nachdem dasselbe starr oder flüssig und letzterenfalls die Flüssigkeit gleichartig oder ungleichartig wäre. Das Ergebniß war, daß der wirkliche Betrag der Präcession sich nur mit einer Dicke der starren Erdrinde vertrage, die wenigstens den fünften Theil des Halbmessers ausmachen würde, sofern nämlich die innere Flüssigkeit nicht gleichartig, sondern an Dichte nach innen zunehme, während der Betrag der Präcession nicht merklich verschieden ausfalle, die Erde möge im Inneren starr oder flüssig sein, wofern nur die Dichte gleichmäßig sei. Hiebei ist dann nur noch zu erinnern, daß ja schon die Abplattung der Erde eine fortwährende Dichtigkeitszunahme nach der Mitte zu fordert, und daß eine gleichmäßige Dichte der inneren Flüssigkeit ohne Zweifel auch mit den Druckverhältnissen unvereinbar wäre.

Diejenigen, welche ein Erstarren der Erde von innen heraus annehmen zu müssen geglaubt haben (wie bindend, das lassen wir nach dem Vorhergehenden dahingestellt sein), mußten auch annehmen, daß die Erde die ursprüngliche Wärme längst verloren habe und vom Mittelpunkt an gänzlich erstarrt sein müsse, seitdem ihre Oberfläche es ist. Sie mußten sich daher nach anderen Erklärungen der thatsächlichen höheren Temperatur im Inneren umsehen. Die Erklärung aus äußeren Wärmeeinflüssen haben wir schon als unmöglich zurückgewiesen, wenigstens sofern die Einstrahlung der Sonnenwärme der Grund sein sollte; wir werden aber auch die Herleitung aus der höheren Wärme einer Weltraumsgegend (etwa einer Sonnengruppe), welche die Erde einst (nach dem Verlust ihrer Urwärme) durchwandert haben sollte, abweisen, zwar nicht aus den dortigen Gründen, welche diese Annahme keineswegs ver-

wehren, wohl aber weil sie uns zu gesucht und bittweise erscheint, wenn damit auch etwa jene frühere Eiszeit der Erde, von der kürzlich soviel die Rede war, gut stimmen würde, sofern sie der besprochenen Wiedererwärmung durch Sternstrahlung vorangegangen wäre, denn auch die Eiszeit ist zu wenig begründet, wie wir sehen werden. Wir würden daher, wenn die jetzige Erdwärme nicht lediglich als der bei allem seitherigen Erkalten sich erhaltende Ueberrest von dem feuerflüssigen Zustand des Planeten begriffen werden kann, uns auf die Seite derjenigen schlagen, welche an fortgesetzte wärmeerzeugende Prozesse im Erdinneren denken, und wir müssen auch umgekehrt die Möglichkeit derselben zugeben, wenn wir mit dem Ueberrest der Urwärme als hinreichender Bedingung des unterirdischen Feuers uns begnügen können.

Daß aber die ganze Erde ursprünglich in feuerflüssigem Zustande sich befunden hat, darf fast als Thatsache betrachtet werden. Die Abplattung der Erde setzt eine flüssige Erde und insbesondere eine flüssige Erdrinde voraus, wie wir gesehen haben; dieß kann aber nur Feuerflüssigkeit gewesen sein, nicht Auflösung in Wasser, da die Gesteine, aus denen die Erdrinde besteht, zum großen Theil im Wasser unlöslich sind. Man hat deßwegen die Abplattung „eine der ältesten geognostischen Begebenheiten“ genannt. In diesem Zustand der Erde mußten sich die Flüssigkeiten von verschiedener Dichte um den Schwerpunkt her schichten, die leichteste zu oberst, welche weiterhin im Erstarren die Grundlage der jetzigen Erdrinde bildete. Alle gasigen und vergasbaren Stoffe mußten damals eine ungeheure Atmosphäre bilden, in welcher also alles Wasser, sammt Salz, Kalk und dergleichen Stoffen sich befand, welche Wasser oder Wasserdampf auflöst. In dem schweren, tiefen, die Erde rings einnehmenden Meer mußten Sonne und Mond mächtige Fluthwellen erregen, und von dieser Seite zeigt sich „in blauer Ferne“ eine geologische Rolle von Ebbe und Fluth. Denn wenn nun die Erde von außen herein plötzlich zu erstarren begann, so mußte zugleich die Fluthgestalt der flüssigen Masse sich festsetzen mit den zwei Fluthbergen ent-

lang dem Fluthmeridian und den zwei Ebbethälern entlang dem zu jenem rechtwinkligen Ebbemeridian. Wir haben im zweiten Abschnitt die Frage nach einer wiederum regelmäßigen Abweichung der Erde von der ellipsoidischen Gestalt erhoben, die Ursache einer solchen bietet sich hier dar. Doch müssen wir bedenken, daß nur bei plötzlicher und allgemeiner Erstarrung der äußersten Schicht die Fluthgestalt derselben der Erdrinde bleiben konnte, während bei allmäligem Hergang nicht nur die Linien der Anschwellung und Einsenkung sich verschieben mußten, nicht mehr jenen beiden Meridianen folgend, sondern auch Rauhigkeiten der erstarrenden Oberfläche entstehen konnten, wovon „die aus Eisbergen und Eisflächen zusammengefrorene unebene Oberfläche der Polarmeere vielleicht ein Bild, wenn auch nur im kleinsten Maßstab, gewährt". Die erstarrten Theile würden nämlich hin- und hergeworfen sein, sich über- und untereinander gedrängt, ihre wagrechten Lagen mit geneigten vertauscht haben u. s. w. Halten wir uns indessen auch Bessel's Ausspruch über solche Dinge und Ereignisse „in blauer Ferne" vor, daß darüber viel Nichtunvernünftiges zwar gesagt, aber nie als unzweideutige Wahrheit erkannt werden kann.

Wenn wir geneigt sind, über diesen feuerflüssigen Zustand der Erde auf einen verflüchtigten oder gasartigen Zustand zurückzublicken, so geschieht dieß nach Anleitung der kosmogonischen Vorstellungen, welche wir uns nach Kant und Laplace im siebenten Abschnitt über die Entstehung der Planetenregionen vorgehalten haben. Wir können hier noch auf ein paar Fragen antworten, welche sich dabei wohl zunächst aufdringen. Wir dachten uns einen Zustand des Sonnensystems, wo seine Materie verflüchtigt war zu einer ungeheuren, von West nach Ost um sich selbst kreisenden und in Folge davon stark abgeplatteten Dunstmasse (Nebelfleck), deren Dichte dem Mittelpunkt zu in Folge der Gravitation selbst zunehmen mußte, so daß sich eine dichtere Centralmasse mit einer Nebelhülle bildete (Nebelstern). Als Ursache dieses Zustandes können wir wohl nichts anderes denken, als einen außerordent-

lichen Wärmegrad, von dem wir uns freilich keine nähere Vorstellung zu machen vermögen, und wir müssen uns sofort die Nebelhülle vermöge der durch Ausstrahlung vor sich gehenden Wärmeabnahme in fortgesetztem Rückzug gegen den Schwerpunkt vorstellen. Bei diesem Verdichtungsprozeß ließen wir, durch den Saturnsring veranlaßt, Ringe sich absetzen, aus deren Trümmern sofort die Planeten sich ballten. Die Ursache von diesen Hemmungen des Rückzugs, welche die Bildung der Dunstringe veranlaßten, werden wir darin finden, daß in Folge der Zusammenziehung der Masse die Geschwindigkeit der Axendrehung, mithin die Schwungkraft dergestalt sich vergrößerte, um sofort der Gravitation Gleichgewicht zu halten. Sowie nämlich dieser Fall für einen Theil der Masse eintrat, konnte derselbe an dem Rückzug nicht weiter theilnehmen, sondern trennte sich von der übrigen Masse, um für sich in der Region zu kreisen, wo jenes Gleichgewicht eingetreten war. Dieß mußte aber zunächst im Aequator des Nebelsphäroids eintreten, während die übrige Masse den Rückzug fortsetzte, stets wieder dem Aequator zu sich anhäufend; es mußte sich aber weiterhin allemal ein neuer innerer Ring auf dieselbe Weise ablösen, so oft wieder am Aequator das Gleichgewicht zwischen Schwere und Schwungkraft eintrat. So bildete sich denn auch in der Region ein Dunstring, wo jetzt die Erde kreist; sie selbst entstand aus der Wiedervereinigung der Stücke des zertrümmerten Rings, und indem sich in dem zunächst gebildeten Dunstball derselbe Hergang noch einmal wiederholte, sonderte er sich in Mond und Erde, die mittlerweile zum großen Theil zum flüssigen Zustand sich verdichtet haben mochten.

Der Wärmeverlust der Erde durch Ausstrahlung muß ursprünglich im feuerflüssigen Zustand derselben und auch noch nach begonnener Erstarrung sehr bedeutend gewesen sein, und sie zog sich dabei ohne Zweifel in einen engeren Raum zusammen, wovon die Folge wieder eine Vermehrung der Drehungsgeschwindigkeit sein mußte. Ohne Zweifel verlor die Erde auch weiterhin und verliert selbst jetzt noch immer von ihrer Wärme,

aber dieses Erkalten mußte von da an sehr langsam von Statten gehen, wo sich einmal eine dickere Kruste gebildet hatte, indem das Innere nun nur noch auf dem Weg der Leitung Wärme an die Oberfläche abgab, und von hier in den Weltraum. Dieser Wärmeverlust, der früher noch, zur Zeit der ältesten plutonischen Umwälzungen, beträchtlicher gewesen sein mag, ist jetzt, d. h. seit den frühesten geschichtlichen Zeiten, so gut als unmerklich, und man kann annehmen, daß seit einer Reihe von Jahrtausenden der Einfluß der inneren Erdwärme auf die Oberfläche sich nicht mehr verändert hat. In der That zeigt sich die Oberflächentemperatur von der inneren Erdwärme gänzlich unabhängig, und ihr Mittel bleibt sich bei allen vom Sonnenstand abhängigen Wechseln den ältesten Erfahrungen zufolge gleich.

Man hat mit Zugrundlegung gewisser Voraussetzungen theoretische Berechnungen über die Erkaltung der Erde angestellt. Nach Versuchen über das Erkalten einer Basaltkugel von 2 Fuß im Durchmesser hat man in der Voraussetzung, daß der Erdmasse im Ganzen dasselbe Leitungsvermögen zukomme wie dem Basalt, berechnet, daß die Erde, um von 340 Grad über Null auf 45 unter Null zu erkalten, 353 Millionen Jahre brauchte, und daß ihre Temperaturabnahme in den letzten zwei Jahrtausenden den 295sten Theil eines Grads betragen habe. Nach einer anderen Berechnung kommt die Erkaltung, die die Erde in einem Jahrtausend erleidet, derjenigen gleich, die unter sonst gleichen Umständen eine Kugel von 1 Meter (3½ Fuß) Durchmesser im 1280sten Theil einer Sekunde erlitte. Man hat auch insbesondere die Erkaltung der Oberfläche, die man vom Wärmeverlust der ganzen Masse unterscheiden muß, zu ermitteln gesucht, und gefunden, daß die Temperaturabnahme in einem Jahrhundert den sovielten Theil eines Grads betrüge, als die 56fache Anzahl der Jahrhunderte angiebt, welche seit dem Anfang der Erkaltung verflossen sind, so daß wenn man auch nur 60 Jahrhunderte annähme, der Betrag für 2 Jahrtausende weniger als der 160ste Theil eines Grads wäre. So lange aber die Anzahl jener Jahrhunderte kleiner als 383

ist, wäre der Verlust der ganzen Masse kleiner als derjenige der Oberfläche, weiterhin dagegen größer u. s. w.

Das sinnreichste, was in dieser Beziehung ausgehegt worden ist, ist die von Laplace eröffnete Einsicht in „das Verhältniß der Tageslänge zur Wärme“. Die Dauer des Sterntags hat in den zweitausend Jahren, die seit dem größten Astronomen des Alterthums, Hipparch, verflossen sind, nicht um den 100sten Theil einer Sekunde abgenommen. Sie müßte aber merklich abgenommen haben, wenn die Erde durch eine merkliche Erkaltung während dieser Zeit eine merkliche Zusammenziehung erlitten hätte. Angenommen nämlich, um etwas Bestimmtes vor Augen zu haben, die Mitteltemperatur der Erde habe um 1 Grad (dießmal nach hunderttheiliger Skale) abgenommen, und sie habe dadurch eine Zusammenziehung wie etwa das Glas erlitten, nämlich um den hunderttausendsten Theil ihres Durchmessers, so muß die Geschwindigkeit der Axendrehung, wie die Mechanik lehrt, um 2 Hunderttausendstel ihres ursprünglichen Betrags zugenommen, mithin der Tag um 1,7 Sekunden abgenommen haben. Da nun aber die Abnahme des Tags, wenn überhaupt eine vorhanden ist, weniger als den 170sten Theil hievon beträgt, so muß auch die Zusammenziehung des Erdkörpers und die Erkaltung weniger als den sovielten Theil des vorhin angenommenen Betrags ausmachen, oder die mittlere Wärme der Erde kann seit zweitausend Jahren nicht einmal um den 212ten Theil eines Reaumur'schen Grads abgenommen haben.

Verschiedene Erwägungen stimmen also dahin überein, daß seit Jahrtausenden der Wärmestand der Erde so gut als sich gleichgeblieben sein muß, und daß man sich auf ungeheure Zeiträume, die in Millionen von Jahren laufen, einlassen müßte, wenn die Erkaltung der Erde recht merklich werden soll, in welchem Fall sie dann zugleich an der Länge des Tags sich zeigen müßte. Es hat aber auch nicht an solchen gefehlt, welche den Wärmeausfluß aus dem Erdinneren für viel beträchtlicher halten, und sofort den Einfluß des Erkaltens auf die Tagesdauer (denn die Unverändertheit seit 2000 Jahren ist

astronomische Thatsache) durch einen anderen Hergang ausgleichen möchten, wodurch die Erde sozusagen in der Axendrehung „gebremst" würde. Der wiederholt erwähnte Mayer findet einen solchen in der Ebbe und Fluth, d. h., wenn wir ihn recht verstehen, in der dadurch hervorgebrachten Ost-Weſtſtrömung aller Meere (von der wir gehörigen Orts handeln werden), sofern dieselbe, beständig gegen die Ostküsten drückend, der West-Ostdrehung des Erdkörpers ein Hinderniß entgegensetze. Allein dieser Widerstand kann nur sehr gering sein, und jener Ost-Westströmung stehen auch entgegengesetzte West-Ostströmungen zur Seite, wie denn schon Laplace (freilich ohne die Fluth und Ebbe ausdrücklich zu nennen) nachgewiesen hat, daß alle Bewegungen auf der Erde, Strömungen in Meer und Luft, Erdbeben u. s. w. ohne merklichen Einfluß auf die Axendrehungsverhältnisse der Erde sein müssen.

Sollte endlich die große Beständigkeit der Erdwärme, die übrigens als Ergebniß der mathematischen Wärmetheorie mehr als einem Physiker (wenn auch unter manchen Voraussetzungen) sich herausgestellt hat, dennoch unwahrscheinlich erscheinen, so könnte immer noch der Gedanke an innere wärmeerzeugende Prozesse dazwischentreten, durch welche sich von einem gewissen Stadium des Erkaltens an die innere Erdwärme so gut als unverändert erhalten hätte, indem von da an etwa ebensoviel Wärme wieder erzeugt, als abgegeben worden wäre. Wir verwahren uns daher gegen solche Muthmaßungen, so sehr wir die unbefriedigende Einsicht in die Wärmeverhältnisse der Erde zugeben, und schließen diesen Abschnitt, nachdem wir mit den letzten Betrachtungen zugleich einen Punkt aus dem zweiten Abschnitt erledigt haben, indem wir die Wirkungen der inneren Erdwärme oder ihren Verkehr mit der Oberfläche dem nächsten vorbehalten und mit den anderen geologischen Prozessen zusammenstellen.

XI.

Die Erdfläche ein Schauplatz plutonisch-vulkanischer und jovisch-neptunischer Hergänge.

Das Innere der Erde steht in fortwährendem Verkehr mit der Oberfläche. Eine Menge von Erscheinungen, welche noch immer unter unseren Augen vor sich gehen, sind Wirkungen unterirdischer Kräfte, Wirkungen von unten nach oben oder von innen nach außen. Man faßt sie unter dem Namen der plutonischen Hergänge zusammen, und da bei den meisten die innere Erdwärme mittelbarer oder unmittelbarer im Spiel ist, so sind die vulkanischen Hergänge (im weiteren Sinn) fast gleichbedeutend mit jenen geworden. Wir halten die Unterscheidung sorgfältig fest, denn zu den Wirkungen von innen, die in größere oder geringere Tiefen zurückgehen, gehören Quellen aller Art und Gashauchen, die vulkanischen Erscheinungen im engeren Sinn oder die Begebenheiten der feuerspeienden Berge, das Erdbeben, überhaupt Erschütterungen, Spaltungen und Hebungen des Bodens, Hervorschiebung neuer Massen und Umwandlung der alten (der sogenannte Metamorphismus der Gesteine). In der That eine merkwürdige „Verkettung geognostischer Erscheinungen von der blos dynamischen Erschütterung, sowie von der Hebung ganzer Kontinente und Gebirgsmassen zu Erzeugung und Erguß von Stoffen, von Gasen und Flüssigkeiten, von heißem Schlamm, von glühenden und geschmolzenen Erden, die sich dann als krystallinische Gebirgsarten erhärten.“

Der Zusammenhang, den man zwischen den verschiedenen plutonischen Erscheinungen wahrgenommen hat, führt aber von

selbst auf die andere Klasse geologischer Wirkungen, auf die Wirkungen von außen nach innen oder von oben nach unten, und legt uns den Gedanken einer Wechselwirkung zwischen der Oberfläche und dem Inneren nahe. Denn Erdbeben und vulkanische Ausbrüche werden durch Wasser vermittelt, und dieses ist von der Oberfläche in das Innere eingedrungen, sowie alles Wasser, welches in den Quellen wieder an die Oberfläche gelangt. Das Wasser spielt überhaupt die Hauptrolle bei den Wirkungen von außen, die wir jetzt im Auge haben, oder ihre Mehrzahl besteht in den neptunischen Hergängen. Da aber doch das Wasser nicht ausschließlich bei Allem wirkt, was von der Oberfläche ausgeht, so erlauben wir uns den plutonischen Hergängen im Allgemeinen die jovischen gegenüberzustellen. Denn wir rechnen zu diesen alles Eindringen von Stoffen in den Boden, voran das Einsickern des Wassers, alle Erscheinungen der Ablagerung oder Sedimentbildung, die zwar vorzugsweise durchs Wasser in Niederschlägen und Schwemmungen vermittelt, zum Theil aber auch organischen Ursprungs sind, sowie die entgegengesetzten Erscheinungen der Ausrodung oder Erosion, d. h. alle Zerstörungen durch Wasser und Luft (Aushöhlungen, Durchbrüche), endlich gehören zunächst hierher Einsenkungen des Bodens (Erdfälle, Einstürze). Da aber die zuletzt genannten Hergänge meistens ihre Ursachen im Inneren haben, indem unterirdische Aushöhlungen zu Grunde liegen, oder indem Senkungen den Hebungen entsprechen, so zeigt sich uns abermals die schon von einer anderen Seite her angedeutete Wechselwirkung.

Von diesen mannigfaltigen geologischen Erscheinungen, welche sich großentheils noch heute zutragen oder wenigstens geschichtlich nachzuweisen sind, können wir auf entsprechende vorgeschichtliche Hergänge zurückschließen, die in ungleich größerem Maßstab erfolgt sind und der Erdoberfläche allmälig ihre gegenwärtige Gestalt gegeben haben, erdgeschichtliche große Umwälzungen, wodurch die Außenseite der Erde im Ganzen oder zu einem großen Theil umgestaltet worden ist, während die heutzutage noch stattfindenden Hergänge derselben

Art keine Umgestaltung mehr hervorbringen, weil sie entweder auf vereinzelte Stellen, auf verschwindend kleine Massen und Räume beschränkt, oder wenn sie größere Räume umfassen, wie manches Erdbeben der geschichtlichen Zeiten, vorübergehender Natur sind. Vereinzelten vulkanischen Ausbrüchen und Hebungen in unseren Zeiten steht in der Vorzeit Ausbruch ganzer Gebirgsmassen und Hebung großer Länderstrecken gegenüber; vereinzelten Auf- und Anschwemmungen, welche wir noch hie und da, ja im ganz kleinen Maßstab überall wo Wasser ist wahrnehmen, ist ehedem Absetzung mächtiger Lager über Tausende von Quadratmeilen und Anbildung geräumiger Tiefländer vorangegangen; vereinzelte Ausrodungen und Einstürze sind jetzt an die Stelle der großen Thalbildungen und Durchbrüche, der Verschüttungen und Einsenkungen auf bedeutende Strecken getreten. Wir werden daher bei der Einzelerörterung der geologischen Erscheinungen stets von unseren Erfahrungen aus vermuthungsweise in die Vorwelt zurückblicken und beginnen mit dem Eindringen und Wiederhervorbrechen des Wassers, indem wir immer die sich ergänzenden Hergänge zusammenstellen.

Die ganze Erdoberfläche ist überall, wo sich Wasser befindet, in beständiger Verdunstung begriffen, vornehmlich die weiten Meeresbecken, von welchen aus die dunstgefüllte Luft durch Winde auch über die Kontinente sich verbreitet. Das daraus sich niederschlagende Wasser dringt in den Boden ein und sammelt sich unter den geeigneten Umständen in größerer oder geringerer Tiefe an, um sofort wieder anzusteigen und in den Quellen hervorzubrechen. Von diesen aus fließt es ab, und verschiedene Abflüsse vereinigen sich zu einem Hauptkanal, durch den das Wasser in das Meer zurückgelangt. Dieß ist der Kreislauf des Wassers, den man mit dem Kreislauf des Blutes verglichen hat, figürlich von einem Leben oder Gesammtorganismus der Erde sprechend. Die nähere Erörterung über die Verdunstungen und Niederschläge (das meteorische Wasser) gehört in die Geschichte der Atmosphäre, die Betrachtung der Wasserläufe von den Quellen an in die Lehre vom Land, beides aber ins folgende Buch. So bleibt uns hier die Geschichte

des in den Erdboden eindringenden Wassers (das unterirdische Wasser) übrig, wovon ein Theil zur Quellenbildung verwendet wird, welche ein Glied in dem Kreislauf des Wassers ausmacht. An die Quellen reiht sich sofort der Ausstoß anderer Stoffe an, häufig mit denselben verbunden, bis zu den vulkanischen Ausbrüchen, bei denen das unterirdische Wasser selbst wieder eine bedeutende Rolle spielt. Ob übrigens alles unterirdische Wasser anzusehen sei als von außen mittelst des atmosphärischen Niederschlags eingedrungen, auf diese Frage werden wir weiter unten zurückkommen, nachdem wir den Kreis der an dasselbe sich knüpfenden Erscheinungen ermessen haben.

Während der größere Theil des niedergeschlagenen Wassers wieder verdunstet, während ein Theil von den Pflanzen angesogen wird oder andere Verbindungen eingeht, während auch viel Wasser bei heftigem Regen oder jähem Schneegang in außerordentlichen Rinnen unmittelbar den ständigen Kanälen zugeht, bringt der Ueberrest in den Boden ein, sich in demselben nach hydrostatischen Gesetzen verbreitend und sammelnd. Zu diesen Gesetzen gehören nicht nur diejenigen, welche wir zum Theil schon im ersten Abschnitt anzuführen hatten, daß die Flüssigkeit die beziehungsweise tiefsten Stellen sucht, daß alle Flüssigkeitstheile, welche in Verbindung mit einander stehen, nach gleich hohem Spiegel (Nivo) streben, sondern auch das Gesetz der Haarröhrchen (Kapillarität), welches das vorhergehende Gesetz von dem gleichhohen Stande wieder beschränkt. Taucht man nämlich eine gehörig enge Röhre in ein weiteres Gefäß ein, so steht die Flüssigkeit in derselben bald höher, bald niedriger, als in dem weiten Gefäß, gemäß ihrer Natur, je nachdem sie nämlich dem Stoff der Röhre anzuhängen, sie zu befeuchten strebt oder nicht, und demgemäß im Röhrchen eine hohle oder erhabene Oberfläche annimmt, und je enger die eingetauchte Röhre ist, desto beträchtlicher ist der Unterschied im Spiegel. Wasser also nimmt in Haarröhrchen von allen Stoffen, die es befeuchtet, eine hohle Oberfläche an und steigt in denselben in die Höhe; deßgleichen in porösen Stoffen, wo an die Stelle eigentlicher Röhren eine Reihenfolge von Poren

tritt (z. B. im Zucker, in Schwämmen). Es saugt sich in solchen Körpern gleichsam hinauf, und diese **Haarröhrchensaugung** spielt ohne Zweifel eine bedeutende Rolle bei der Verbreitung des Wassers im Erdboden (wie auch bei der Ernährung der Pflanzen).

Wir werden uns nun von der **Quellenbildung** im Allgemeinen folgende Vorstellung machen. Je nach der Beschaffenheit des Bodens dringt das Wasser nur auf geringe Tiefen ein, erweicht aber denselben in seiner ganzen Masse, oder es sickert allmälig durch, indem es ihn blos durchnäßt, oder es wird endlich in einzelnen Spalten und Ritzen fortgeleitet. In gewöhnlicher Ackererde soll der Regen selten über 1½ Fuß, nie über 4 Fuß eindringen, und Thonerde ist fast ganz undurchdringlich, während dagegen ein Boden aus Sand und Kies das Wasser in jede Tiefe durchsikern läßt. Man findet aber auch in manchen Steinbrüchen (Molasse) den Stein in bedeutenden Tiefen durchfeuchtet, und dichtere Sandsteine, ja selbst einige Kalksteine lassen das Wasser noch in geringem Grad eindringen (Grubenfeuchtigkeit), während undurchdringliche Felsarten, wie Granit, körniger Kalkstein, dem Wasser Klüfte darbieten, die sich oft sehr weit erstrecken. Das Wasser dringt aber im Boden abwärts, bis es durch früher angesammeltes Wasser oder durch undurchdringliche Bodenschichten, wie Thonlager, unzerklüftete Felsbänke, aufgehalten wird; im ersten Fall steigt alsdann das Wasser an, bis sein Spiegel an die Oberfläche tritt, womit die Quelle vorhanden ist; im anderen sammelt es sich über der **Hemmschicht** und begiebt sich an deren tiefste Stellen, worauf sofort der vorige Hergang eintritt, wenn jene Stellen nicht bereits an der Oberfläche liegen. Die Sammelstellen aber können Lager von Sand und Kies oder Felsmassen sein, welche von vielen unter sich zusammenhängenden Spalten durchsetzt sind, aber auch größere **unterirdische Behälter**, in welche das Wasser aus einem größeren Bezirk mittelst weit fortgesetzter Spalten und Kanäle gelangt; dieß giebt dann besonders wasserreiche Quellen mit weitverzweigtem **Wurzelsystem** (worunter man den Inbegriff der verborgenen unter-

irdischen Zuflüsse einer Quelle versteht), und solchen steht gewöhnlich Wasserarmuth der übrigen Bodenfläche zur Seite (so besonders in Kalksteingebirgen).

Gehen wir noch auf einige Besonderheiten in der Quellenbildung ein. Die Springkraft einer Quelle rührt daher, daß ihre Wurzeln höher liegen als sie selbst, so daß das Wasser mit größerem oder geringerem Druck aufgetrieben wird, und dieß wird eintreten, wenn das eingesickerte Wasser einer geneigten Hemmschicht entlang an die Quellstelle fortgeleitet wird. Man kennt selbst Süßwasserquellen mitten im Meer (im Golf von Spezia, zwischen Yukatan und Kuba u. s. w.), wo das Wasser am Meeresspiegel aufsprudelt, und dieß erklärt sich aus dem Einsinken der Hemmschicht unter den Seespiegel von höheren Küstenstrichen herab. In Flachländern mit wagrechten Schichten bekommt das zwischen solchen eingeschlossene Wasser keinen Anlaß zu quellenartigem Hervortreten, daher die Quellenarmuth in Steppenländern troß vielen Regens. Quellenbildende Wassersammlungen können blos an Stellen vorkommen, wo wenn auch noch so kleine Einbiegungen oder Neigungen der Schichten stattfinden; daher eignet sich wellenförmiges, hügliges und vollends gebirgiges Land so besonders zur Bildung von Quellen, welche dann an dem Abhange sich befinden, dem die Schichten sich zuneigen. Aber auch eine bedeutende Mächtigkeit der wasserdurchlassenden Schicht kann Quellenarmuth zur Folge haben; das Wasser kommt dann blos an solchen Stellen zum Vorschein, wo die Hemmschicht zu Tage geht, und daran hat man bei den Oasen der Sandwüsten zu denken, welche ebensoviele Einsenkungen in der Wüstenplatte sind. Wenn sich die Schichten, zwischen welchen Wasser sich ansammelt, muldenförmig einwärts wölben, so kann am einen oder anderen Ende eine Quelle sich bilden, und wenn das obere Lager gegen die Tiefe der Mulde zu durchbohrt wird, so wird vermöge des höheren Drucks in der größeren Tiefe das Wasser durch das Bohrloch in die Höhe springen, man hat dann einen artesischen Brunnen.

Die unterirdischen Becken und Kanäle endlich (Schlotten,

entonnoirs, Katabothren), welche in den zur Zerklüftung besonders geneigten Kalksteingebirgen vorkommen, erklären manche auf den ersten Anblick räthselhafte Erscheinungen. Seen können durch solche Kanäle ihren Zufluß oder Abfluß finden und oft auf große Entfernungen mächtige Quellen speißen (der Joursee im Jura und die Orbequelle), sie können sich auch auf solchen Wegen zeitweise entleeren oder füllen (der Zirknitzersee im Karst), Bäche, ja Ströme können sich in denselben verlieren und weiterhin ungeschwächt wieder hervorkommen (perte du Rhone, Lontel auf der Alb). Wenn von einem unterirdischen Becken aus ein heberförmiger Kanal an eine Stelle der Oberfläche führt, welche niedriger liegt als der Grund des Beckens, von dem der Heber aufsteigt, so wird das Becken sich ganz entleeren, sowie das Wasser in demselben die Höhe des höchsten Punkts vom Heberkanal erreicht hat, und es wird sich auf diese Art eine Quelle bilden, welche mit zeitweiser Unterbrechung fließt, so oft nämlich jenes Becken sich wieder zur entsprechenden Höhe gefüllt hat. Man hat diesen Gedanken zur Erklärung der sogenannten intermittirenden Quellen beigezogen, welche in kürzeren Perioden (von einigen Minuten bis zu einigen Tagen) abwechselnd fließen und nicht fließen, auch können auf demselben Weg plötzliche Entleerungen von Seen oder Teichen vor sich gehen. Uebrigens hat man wohl bei verschiedenen Quellen jener Art an verschiedene Ursachen der Unterbrechung zu denken, und so namentlich bei der berühmtesten unter allen eine andere Erklärung als durch den Heber zu suchen. Es ist der Geyser auf Island, der ungefähr einmal in 24 Stunden eine dicke Wassersäule zu 100 Fuß aufsteigen läßt, so daß nach jedem solchen Ausbruch das Becken sich gänzlich entleert, zuweilen bis 12 Fuß abwärts in seinem Kanal. Hier hat man nämlich eher an einen heronsballartigen Bau des Bodens zu denken, dergestalt daß von einem tiefen unterirdischen Becken eine Steigröhre ausgeht, die sich oben trichterförmig ausmündet, mit ihrem anderen Ende aber tiefer liegt als die oberen Theile des Beckens; sammeln sich nun hier Wasserdämpfe, was beim heißen Geyser wahrschein-

lich ist, oder andere Gase (z. B. Kohlensäure), so wird der Druck der Gase oder Dämpfe das Wasser durch den Trichter hinaustreiben, bis der Wasserspiegel im Becken niedriger steht als die untere Oeffnung des Trichters, durch welchen sofort die Gase entweichen können. In der That, nicht wenige unserer hydraulischen Vorrichtungen finden sich in natürlichen unterirdischen Wasserwerken verwirklicht.

Zu dieser mannigfaltigen Mechanik der Quellen kommt auch eine Fülle von Chemie. Das Wasser nimmt im Boden mannigfaltige Stoffe in sich auf, sei es daß es in den Schichten, welche das Wurzelsystem der Quelle enthalten, feste Stoffe (Kochsalz, kohlensaurer Kalk, Bittererde u. s. w.) auflöst, oder daß es Stoffe, welche gasförmig aus dem Erdinneren hervorbringen, verschluckt (Kohlensäure, Schwefelwasserstoffgas u. s. w.), oder endlich daß es feste sowohl als gasige Stoffe durch Zersetzungen an sich bindet, die es selbst im Boden veranlaßt (z. B. Kohlensäure durch Zersetzung von Humus, Natron- und Kalisalze durch Zersetzung von Feldspath unter Beihilfe höherer Temperatur). Von den Gasausströmungen, die wir so eben erwähnt haben, und die in der That auch selbständig vorkommen, werden wir nachher noch besonders handeln. Kein Quellwasser ist vollkommen rein, namentlich selten ganz kalkfrei; diejenigen aber, welche fremdartige Stoffe in höherem Maß enthalten, faßt man bekanntlich unter dem Namen der Mineralwasser zusammen, welche die Sauerwasser, Schwefelwasser, Soolen, Bitterwasser, Stahlwasser unter sich begreifen, deren kennzeichnende Natur beziehungsweise von dem gehörigen Gehalt an Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Kochsalz, Bittersalz, kohlensaurem Eisenoxydul herrührt. Da warmes und heißes Wasser mehr auflösende Kraft und Fassungsvermögen besitzt, so möchte man bei der Reinheit, wodurch sich manche Warmquellen auszeichnen, an eine Art von Destillation des unterirdischen Wassers in Behälter mit unlöslichen Wänden denken. Uebrigens kommen in den Thermen auch Stoffe vor, welche man in den kalten Quellen nicht antrifft, z. B. unter den Gasen Stickstoff, unter den festen Stoffen Kieselerde.

Die Warmquellen selbst beruhen auf der Berührung des unterirdischen Wassers mit der inneren Erdwärme. Denn das in den Boden eindringende Wasser nimmt in den verschiedenen Tiefen, zu denen es gelangt, auch die erhöhte Temperatur dieser Tiefen an und kommt mit derselben zu Tage. Dieß zeigt sich schon an der gleichbleibenden Temperatur mancher Mineralquellen (Cannstadt), die immerhin noch zu den kalten Quellen gehören, in höherem Grad aber an den Thermen schlechthin, welche Wasser von der Blutwärme bis zur Siedhitze liefern. Diesen Thermen schlechthin, deren Wärme alle auf der Erdfläche herrschenden Mitteltemperaturen übersteigt, stehen nämlich als beziehungsweise Warmquellen solche gegenüber, welche nur die örtlichen Mitteltemperaturen übersteigen, dergestalt daß sie in wärmeren Zonen zu den kalten Quellen gehören würden. Die berühmtesten Siedquellen sind die isländischen (auch die von Ischia kommt der Siedhitze sehr nahe), von deren Mechanik als Springquellen bereits die Rede war, ja man hat selbst passend den Namen Geyser als Gattungsnamen auf alle Quellen übergetragen, deren Wärme dem Siedpunkt nahe kommt und deren beträchtliche Springkraft mit periodischem Aussetzen bereits an vulkanische Erscheinungen erinnert. Im Inneren solcher Quellen steigt die Temperatur unter dem eigenen Druck der Wassersäule noch über den Siedpunkt. Der isländische Geyser soll in 60 bis 70 Fuß Tiefe 100 Grad haben. Wir erinnern hier an die im vorigen Abschnitt enthaltene Verdampfungslehre, wornach man auf die bedeutenden Wärmegrade schließen mag, welche Wasser und Wasserdampf in größeren Tiefen bei dem stets zunehmenden Druck annehmen müssen, sowie an den ebendaselbst erörterten Begriff der unteren Wassergränze, unter welcher nur noch Wasserdampf von sehr erhöhter Temperatur und Spannkraft vorkommen kann, und von welcher aus solcher Dampf nach oben sich entwickeln muß. Dieß ist von Wichtigkeit theils für die Erklärung der Thermen selbst, theils für die Mechanik der vulkanischen Ausbrüche und Erdbeben.

Daß die mit der Tiefe zunehmende Wärme des Erdinneren

es ist, welcher die Thermen ihr Dasein im Allgemeinen verdanken, kann nach der Erfahrung an den artesischen Brunnen nicht zweifelhaft sein, vermöge der man durch Bohrlöcher wirklich künstliche Thermen erzeugt hat; die erbohrte Springquelle zu Paris hat 22 Grad, die in Neusalzwerk sogar über 26 Grad, schon einer Therme schlechthin sehr nahe kommend. Im Besonderen aber hat man bei den verschiedenen Thermen an verschiedene Mechanik zu denken. Wenn eine Therme am Fuß hoher Berge vorkommt (wie die von Bormio am Ortler), innerhalb dessen die Chthonisothermen, von welchen wir im vorigen Abschnitt gesprochen haben, stark nach oben sich wölben müssen, so begreift es sich von selbst, wie das am Gipfel eindringende und am Fuß hervorquellende Wasser eine zum Theil schon sehr hohe Temperatur haben kann. In anderen Fällen wird man an heberförmige Kanäle zu denken haben, deren Biegungen in Tiefen hinabgehen, wo die betreffende Temperatur herrscht, und daher begreift sich das häufigere Vorkommen der Thermen in vulkanischen Gegenden, wo Verbindungen der Oberfläche mit dem Inneren in größerer Menge stattfinden, sowie in tiefen Thalspalten, sofern dieselben unterirdisch sich fortsetzen. Bei Thermen von sehr hohem Wärmegrad endlich, zumal wenn sie nicht in der Nähe hoher Berge vorkommen, wo also jene Heberverbindungen in zu große Tiefen sich erstrecken müßten, werden wir im Einklang mit der bereits entwickelten Mechanik der Geyserwasser an Wasserdämpfe zu denken haben, welche aus größerer Tiefe in Wasserbehälter aufsteigen, die dann nicht eben weit unterhalb der Oberfläche zu liegen brauchen, um gleichwohl durch die freiwerdende Wärme der verflüssigten Dämpfe bis zur Siedhitze erwärmt zu werden. In gleicher Weise kann auch der Boden, der das Wurzelsystem der Quelle enthält, durch aufsteigende Dämpfe erwärmt werden, wodurch dann eine Therme sich bildet, ohne daß die Wurzeln der Quelle selbst in größere Tiefe sich erstrecken, und diese Bildung von Thermen entspricht der Bildung von Mineralwassern durch Gasentwicklungen.

Daß die unterirdische Dampfbildung, gleichsam eine natür-

liche Dampfheizung, eine Hauptrolle bei der Thermenbildung spielt, wird dadurch kräftig unterstützt, daß der Wasserdampf, welcher im Erdinneren in großer Menge aus dem eingedrungenen Wasser (zum Theil vielleicht auch durch Zersetzungen) sich bilden muß, der Erde auch selbständig aus Oeffnungen des Bodens entströmt, und zwar namentlich in der nächsten Umgebung heißer Quellen. Oft sind diese Dämpfe gleich den Quellwassern mit verschiedenen anderen flüchtigen Stoffen gemengt, wie die zahlreichen „Fumarolen und Fumacchien", d. h. heiße rauchähnliche Dampfsäulen, die dem vulkanischen Boden Italiens entsteigen. Sie setzen sofort, und gleicherweise die heißen Mineralwasser, die mitgenommenen Stoffe in festem Zustand wieder ab, und veranlassen z. B. bedeutende Kalkablagerungen (der Travertino). Am bedeutendsten aber ist die Dampfausströmung an den Kratern und in der nächsten Umgebung thätiger Vulkane, während sie in nichtvulkanischen Gegenden viel seltener vorkommt, und unter den vulkanischen Gasen im engeren Sinn, d. h. denjenigen, welche bei den Ausbrüchen der feuerspeienden Berge selbst ausströmen, steht wiederum der Wasserdampf oben an; auch beruht die Mechanik dieser Ausbrüche hauptsächlich auf der Ausdehnsamkeit der im Inneren der Erde sich entwickelnden Gase, vor allem des Wasserdampfs. Ehe wir indeß von den Vulkanen selbst handeln, ist noch einiges über die anderweitigen Gase zu sagen, welche der Erde entströmen, wobei wir, wie überhaupt in diesem Abschnitt, neben Humboldt hauptsächlich an Studer uns halten.

Die Gasausströmungen sind theils vorübergehend, als Schwaden, als Vorboten oder Gefolge vulkanischer Ausbrüche, theils stetig nach Art von Quellen, weshalb man solche auch geradezu Gasquellen genannt hat, worunter besonders die Mofetten oder die kalten Kohlensäurequellen und die nach erfolgter Anzündung fortbrennenden Quellen brennbarer Gase nach Natur und Anzahl ausgezeichnet sind. Während wir aber den unterirdisch sich entwickelnden Wasserdampf vorzugsweise dem von außen in die Erdrinde eindringenden Wasser zuzuschreiben haben, so eröffnen die Gashauchen einen tiefen, wenn

auch nicht klaren Blick in die unterirdische Chemie, denn so unnachweisbar die einzelnen Hergänge sind, wodurch sich die ungeheuren Mengen von Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Kohlenwasserstoff, selbst Stickstoff bilden, welche der Erde an zahlreichen Orten oder vereinzelter entströmen, so gewiß ist, daß nur fortwährende Zersetzungen im Inneren der Erde jene Gase liefern können. Zu den nichtbrennbaren Gasen, welche die Erde aushaucht, gehört, außer dem sehr vereinzelt vorkommenden und ganz zum Gefolge der sogenannten Schlammvulkane gehörigen Stickgas, nur die Kohlensäure, nächst dem Wasserdampf das verbreitetste Gas, und wie das Wasser das Ergebniß einer Verbrennung.

Wie sehr auch die Kohlensäureausströmung mit den vulkanischen Erscheinungen zusammenhängt, mag aus Folgendem erhellen. Sie kommt ebenfalls bei Schlammvulkanen vor, sowie bei den Feuerbergen selbst, nämlich nach den Ausbrüchen derselben in sehr großer Menge und längere Zeit hindurch, Keller, Brunnen und Niederungen z. B. in Italien erfüllend, zuweilen auch im Inneren der Gebirge unter dem bergmännischen Namen der bösen Schwaden. Die eigentlichen Mofetten aber oder die beständigen Ausströmungen dieser Gasart aus dem Boden finden sich in vulkanischen Gegenden, auch wo kein thätiger Vulkan heutzutage mehr vorhanden ist, wie im niederrheinischen Bergland zu beiden Seiten des Stroms. „Man kann den Landstrich im Westen der Weser (Pyrmont) als eine siebartig durchlöcherte Oberfläche ansehen, aus deren Spalten sich heute noch die Gasarten hervordrängen, welche fortwährend in der Tiefe, auf der Werkstätte des vulkanischen Heerdes, durch uns unbekannte Prozesse erzeugt werden.“ Die unzähligen Gasquellen in der Eifelgegend finden sich nicht sowohl in den dortigen erloschenen Kratern, als vielmehr in den benachbarten tief eingeschnittenen Thälern; sie liefern außerordentlich viel Gas, man schätzt den täglichen Betrag auf fünf Millionen Kubikfuß. Wo nicht heiße Dämpfe mit ausströmen, haben die Mofetten so ziemlich die Temperatur des Quellorts, und da die Kohlensäure bedeutend schwerer ist als die atmo-

sphärische Luft, so nimmt sie an den Entwicklungsstellen die unteren Schichten ein; in der berühmten Hundsgrotte bei Neapel wird die Höhe der „mephitischen Schicht“ auf 8 Zoll geschätzt, derselbe Umstand bezeichnet das Todesthal auf Java, die Todesgruben in Unterengaddin. Wie nun den heutigen Vulkanausbrüchen langfortdauernde Ausströmungen verbrannter Kohle folgen, so stellen die Mofetten gleichsam „Brandstätten der Vorwelt als letzte Regungen der vulkanischen Thätigkeit“ dar. „Sollten,“ fragt bei dieser Gelegenheit zuletzt Humboldt, „in der Urwelt nicht auch mächtigere Ausströmungen von kohlensaurem Gas stattgefunden haben, welche, dem Luftkreise beigemengt, den kohleabscheidenden Prozeß des Pflanzenlebens erhöhten, um sofort in waldzerstörenden Revolutionen einen unerschöpflichen Vorrath an Brennstoff, vergraben in den oberen Erdschichten, zu hinterlassen?“

Unter den brennbaren Gasen (wie Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Schwefeldampf, Kohlenwasserstoff, Kohlenoxyd) steht nach seiner Verbreitung das Schwefelwasserstoffgas, häufig in Verbindung mit Schwefeldämpfen, voran, doch entwickelt es sich in geringerer Menge als Kohlensäure und Wasserdampf. So allgemein wie dieser strömt es aus den Kratern rauchender Vulkane, und viele alte Krater sind jetzt Solfataren geworden und dienen als Schwefelgruben, wo, theils durch Zersetzung jenes Gases, theils durch Niederschlag von Schwefeldämpfen selbst, Schwefel sich absetzt, und wieder durch Verbindung desselben mit dem Sauerstoff der Luft schwefelsaure Salze sich bilden. Eine der größten Solfataren ist die brennende Fläche bei Urumtsi am Nordabhang des Thianschan in Innerasien, ein wahrer Schwefelpfuhl von 5 Stunden im Umfang, wo nicht nur kein Schnee liegen bleibt, sondern wo selbst Flammen und Rauch (z. B. durch Hineinfallen eines Steins) hervorbrechen. Auf Java sind die Ausströmungen dieses Gases mit Schlammergießungen begleitet; Gas und Schlamm miteinander kommt aus zeitweise aufsteigenden und wieder berstenden Höckern. In noch engerer Verbindung mit den Schlammergießungen steht die andere Gruppe der brennbaren Gase, die

gekohlten Gase, voran das hellbrennende Kohlenwasserstoffgas, das Jedermann von der Gasbeleuchtung kennt. Indessen giebt es auch schlammlose Entwicklungen solcher Gase, nicht nur in Kohlenbergwerken als feurige Schwaden oder schlagende Wetter, sondern auch als eigentliche brennbare Gasquellen, wohin die Feuer im Apennin und die altbekannten Gasflammen von Baku am kaspischen Meer gehören, jene heiligen Feuerheerde (Ateschgah), wo das Gas nebst Naphthadampf aus einer Menge von Ritzen des Kalksteinbodens kommt. Es entwickelt sich auch aus Salzbohrlöchern und aus Sümpfen (Sumpfgas), und bei Dschittagong am bengalischen Busen sollen aus kaltem Wasser Gasblasen aufsteigen, welche sich an der Luft von selbst entzünden. Dieß könnte kein Kohlenwasserstoffgas sein, vielmehr ist diese Eigenschaft der Selbstentzündung nur vom Phosphorwasserstoffgas bekannt, allein man bezweifelt heutzutage die Bildung dieses Gases im Sumpfwasser sammt den Irrlichtern, welche im Volksglauben ihre wohlbekannte Rolle spielen, und wohl durch jene Gasart erklärt werden müßten, wenn einmal ihr Vorhandensein erwiesen wäre, weßhalb wir auch jene indischen Feuerbrunnen dahingestellt sein lassen.

In all den Gegenden endlich, wo brennbare Gasquellen und Schlammvulkane vorkommen (Halbinsel Baku, Apennin, Sizilien u. s. w.) finden sich auch reiche Quellen von Erdöl (Naphtha), meistens mit Wasser, auf welchem die ölartigen Stoffe schwimmen, seltener ohne Wasser. Die reine Naphtha, welche flüchtig und farblos an die ätherartigen Stoffe gränzt, ist im gemeinen Erdöl mit einem schwarzen harz- oder pechartigen Stoff verbunden, welcher im Erdpech (Asphalt, Bitumen) vorherrscht, das theils für sich beträchtliche Lager bildet (z. B. auf dem Grund des todten Meers), theils manchen besonders plutonischen Gesteinen beigemengt erscheint (bituminöse Gesteine). Es liegt daher einerseits sehr nahe, die brennbaren Gashauchen aus Verflüchtigung von Erdöl, oder beides zusammen aus einer unterirdischen Destillation von Steinkohlen und anderen bitumenhaltigen Massen herzuleiten, auch finden

sich in der That oft Lager solcher Stoffe in dem Boden, dem Erdöl und brennbares Gas entquillt. Andererseits aber wird man in Anbetracht der ungeheuren Mengen dieser Quellstoffe, die sich an manchen Orten seit sehr langer Zeit erzeugen, sowie in Hinsicht der vulkanischen Natur aller dieser Gegenden, wiederum eher geneigt, sie daselbst als Erzeugnisse allgemeinerer Prozesse im Erdinneren zu betrachten und mit den Erscheinungen der Thermen, Mofetten, Solfataren, Schlammvulkane in Eine Klasse zu setzen; daher schon geradezu das Urtheil ausgesprochen worden ist, daß die Gasflammen und Naphthaquellen eine „vulkanische Erscheinung seien, die durch Spalten aus der Tiefe emporwirke, durch einen chemischen Prozeß bedingt, welcher Schwefel und Bitumen erzeugt."

Im Vorbeigehen gedenken wir hier noch der Erdbrände, welche in Lagern von Stein- und Braunkohlen entstehen, die Schwefelkies führen, indem sie sich in Folge einer Zersetzung dieses Minerals entzünden und dann jahrelang fortbrennen; übrigens scheint die Selbstentzündung erst zu erfolgen, nachdem Bergbauarbeiten der Luft den Zutritt eröffnet haben. Ihre Erzeugnisse sind gebrannte Erden und Steine und Schlacken (Porzellanjaspis); die Wärme, die sich dabei entwickelt, soll neuerdings bei dem Erdbrand in der Gegend von Teplitz zu treibhausartigen Anlagen benutzt worden sein.

Wenn mit Gasen, vornehmlich mit den zuletzt erwähnten brennbaren Gasen zugleich Schlamm ausgestoßen wird, so entstehen Schlammvulkane oder Salsen, welch letzterer Name auf den Salzgehalt des Schlammwassers sich bezieht, und es unterliegt keinem Zweifel, daß der Druck der hervorbringenden Gase es ist, was den Ausbruch des Schlammes ursprünglich veranlaßt, dem häufig auch Erdöl beigemengt ist. Während alsdann die Schlammergießung meistens ruhig und gleichförmig fortgeht, durchbrechen die Gasblasen die Flüssigkeit von Zeit zu Zeit und werfen dieselbe beim Zerplatzen in die Höhe. Insoweit gleicht die Erscheinung eher den Quellen, und die Temperatur der ausgestoßenen Stoffe ist in der Regel die der Luft; die aufsteigenden Gase sind die genannten brenn-

baren Gase und Kohlensäure, sehr vereinzelt, obwohl dann in großer Menge, wie in der neueren Zeit an südamerikanischen Salsen (Volkanitos von Turbaco) entdeckt worden ist, auch Stickgas, welches für die chemische Herleitung ein besonderes Räthsel ist. Allein nach längeren Zeiträumen erfolgen außerordentliche mächtigere Ausbrüche, welche in reichlicherem Erguß und hochgehendem Auswurf von Schlamm und Steinen bei erhöhter Temperatur bestehen, aber auch von unterirdischem Getöse, Erschütterung des Bodens, brenzlichem Geruch (nach Schwefel, Bitumen), ja selbst von Rauch und Flammen begleitet sein sollen. Solche Vorkommnisse bringen die „harmlose“ Salsenerscheinung den Vulkanen näher, sie rühren ohne Zweifel von zeitweise stärkerem Gasandrang im Erdinneren her und haben zur Uebertragung des Namens Vulkane Anlaß gegeben. Dieselben vulkanartigen Hergänge (nach Humboldts Beschreibung in noch großartigerem Maßstab) bezeichnen vor Allem die erste Entstehung einer Salse, in welcher das eingesperrte Gas gewaltsam sich Bahn bricht, und eine weitere Aehnlichkeit mit den Vulkanen besteht in den kleinen Erhöhungen (flacheren Rücken oder spitzeren Kegeln), zu welchen der ausgestoßene Schlamm sich ablagert und erhärtet, mit kraterähnlichen, schlammgefüllten Oeffnungen an den Scheiteln, aus denen im Zustand der Ruhe die Gasblasen aufsteigen.

Von den Geysern und Salsen gelangen wir nun zu den (eigentlichen) Vulkanen oder zu den vulkanischen Erscheinungen im engsten Sinn, wobei uns das unterirdische Wasser fortwährend begleiten muß. Das wesentliche Merkmal eines Vulkans besteht darin, daß er eine Oeffnung der Erdrinde darbietet, wodurch die Oberfläche in eine bleibende (oder wenigstens von Zeit zu Zeit erneute) und unmittelbare Verbindung mit dem inneren Wärmeheerd gesetzt ist, eine „Esse des unterirdischen Feuers“. Der Erguß feuerflüssiger Gesteinsmassen, welcher, nebst dem Auswurf von Asche, erst bei dieser vulkanischen Erscheinung (vom höchsten Grad oder im engsten Sinn) auftritt, weßhalb die Vulkane figürlich „intermittirende Quellen geschmolzener Erden“ genannt worden sind, deutet

entschieden darauf hin, daß die in den Vulkanen bestehende Verbindung mit dem Erdinneren in Tiefen reicht, wo der feuerflüssige Zustand stattfindet, daß also die vulkanischen Schlünde oder Kanäle durch die starre Erdkruste hindurchgehen. Sie sind in der Regel in kegel- oder kuppelförmige Berge eingeschlossen (doch nicht immer, den Vulkan Pichincha bezeichnet Humboldt als einen langgedehnten Rücken), und ihre obere Mündung ist der Krater des Vulkans, Ausbruchkrater, ein weiteres oder engeres Kesselthal bildend. Ohne Zweifel rührt die Entstehung dieser Berge von derselben unterirdischen Thätigkeit her, welche die zeitweisen Ausbrüche der Feuerberge veranlaßt; die Bildung einer Esse ist gleichsam der erste Ausbruch, welcher die nachherigen an Gewaltigkeit ebenso übertreffen mag, wie bei den Salsen, und der Berg wächst sozusagen mit jedem folgenden Ausbruch durch Ueberlagerung der ausgeflossenen Stoffe. Ja wir übersehen von hier aus einen allmäligen Uebergang von den unter unseren Augen vor sich gehenden vulkanischen Ausbrüchen zum Hervorbrechen großer Gebirgsmassen, ja zur Hebung ganzer Länder, und es ist keine Frage, daß in der Vorwelt die vulkanischen Oeffnungen viel zahlreicher waren, wie wir denn in der That eine beträchtliche Anzahl von Bergen kennen, die als erloschene Vulkane, als verstopfte Essen anzusprechen sind, während die Geschichte gegentheilig auch von neuentstandenen Vulkanen erzählt (der berühmte Jorullo in Mexiko 1838).

Wie Geyser und Salsen, so zeigen auch die Vulkane einen Wechsel von Zuständen der Ruhe oder schwächeren Thätigkeit und der gesteigerten Aufregung, nur daß von der Regelmäßigkeit der Geyser keine Rede ist, und daß die Zwischenzeiten der Ruhe oft sehr lange (Jahrhunderte lang) dauern, so daß ein Vulkan zu Zeiten schon fast erloschen schien (der Krater des Vesuvs soll vor den Jahren 79 und 1631 mit Wald bewachsen gewesen sein), während dann wieder in kürzeren Fristen heftige Ausbrüche folgen. Die Perioden der Ausbrüche scheinen kürzer zu sein bei den niedrigeren Vulkanen („der rastlos arbeitende Stromboli“), wie Humboldt bemerkt und eine Erklärung

in den ungleich größeren Kräften findet, die bei den Ausbrüchen der höheren Vulkane ins Spiel gesetzt werden. Bei den meisten überhaupt noch thätigen Vulkanen zeigt sich der Krater in den Zeiten der Ruhe als Solfatare mit innen schwefelabsetzenden, außen wolkenbildenden Dampfhauchen, zuweilen mit stärkerer Aufregung, die sich jedoch auf den Krater beschränkt, innere Aufschüttungen und Ergießungen bildend, höchstens Asche und Schlackensteinchen auswerfend. Rechnen wir dergleichen schon zu den eigentlichen Ausbrüchen, so sind diese allerdings auch bei größeren Vulkanen häufiger und es kann bei kleineren von fast stetigem Ausbruchzustand die Rede sein; allein auch beim Stromboli, wo solche alle 3 bis 8 Minuten vorkommen, treten die stärkeren Ausbrüche oft erst nach Jahren ein, wo glühende Massen weithin geschleudert werden. Sehr verschieden ist auch die Dauer der stärkeren oder der vollkommenen Ausbrüche, bei denen es zum Lavaerguß kommt, von Tagen und Wochen bis zu Jahren, übrigens dann mit Unterbrechung durch Pausen geschwächter Thätigkeit (ganze Ausbruchszeiträume). Vielen Ausbrüchen gehen lange Zeiten hindurch Erschütterungen des Bodens und unterirdische Explosionen voran, was beim Ausbruch fortdauert, doch erfolgt auch beides plötzlich mit einem Male, sogar der Lavaerguß, der gewöhnlich erst die volle Höhe der Erscheinung bezeichnet. Das Ende des einzelnen Ausbruchs bilden meistens elektrische Entladungen in der Luft, die vom ausgestoßenen und sofort niedergeschlagenen Wasserdampf herrührenden vulkanischen Gewitter, und nach völlig eingetretener Ruhe des Bergs erscheinen an den erstarrenden Lavaströmen, an den Abhängen und in weiterer Umgebung lang anhaltende Aushauchungen von Kohlensäure. Man unterscheidet daher auch wohl drei Zustände der Vulkane, den Ausbruch, die innerliche Aufregung und die Ruhe, oder die Zustände des feuerspeienden Bergs, der Solfatare und der Mofette.

Den Hergang bei einem vollkommenen vulkanischen Ausbruch bezeichnen im Allgemeinen folgende Erscheinungen. Die ersten Zeichen der gesteigerten Thätigkeit des Vulkans sind

unterirdisches Getöse und Zunahme des vom Krater aufsteigenden Rauchs; der Berg zittert, in der ganzen Umgebung erfolgen Erdstöße, der Rauch verdichtet sich und beladet sich mit Asche; bald steigt bei ruhiger Luft eine mächtige Säule von Rauch und Asche senkrecht empor und breitet sich erst in der dünneren oberen Luft zu einer Wolke aus, so daß das Ganze der Gestalt einer Pinie verglichen worden ist; bald bildet der vulkanische Rauch schon in den niederen Regionen dicke verfinsternde Haufenwolken, deren plötzliche Entstehung gewitterbildend wirkt. Strahlen glühenden Sands durchziehen bereits die dunkle Säule und von allen Seiten hört man Explosionen; sofort werden glühende Steine und geschmolzene Massen unter heftigem Getöse emporgeschleudert (die vulkanischen Feuersäulen), und das Zittern des Bodens nimmt an Heftigkeit zu. Endlich bricht, emporgehoben von Dämpfen, die feurige Flüssigkeit in Masse hervor, sei es aus dem Krater selbst, welcher, davon erfüllt, überflutet, oder aus den Seitenwandungen der Esse, indem dieselben vom Druck der hervordringenden Masse bersten, und die Lava ergießt sich in mächtigen Strömen bald schneller, bald langsamer bergabwärts. Zu diesen Feuerströmen gesellen sich zuweilen ungeheure Wasser- und Schlammströme (manchmal mit einer Menge todter Fische); Asche und Sand fällt meilenweit nieder und zu dem Aschenregen gesellt sich oft wirklicher (Gewitter-) Regen, breiartigen Absatz veranlassend; Gase verschiedener Art dringen an vielen Stellen bis in die Niederung hervor, werden auch von den Lavaströmen ausgehaucht. Das flüssige Wasser, sowie nichtglühende Steinchen und Blöcke, welche der Vulkan neben den Dämpfen und den geschmolzenen oder glühenden Massen ausstößt, kommen aus geringeren Tiefen, mitgenommen von der Gewalt des vom tieferen Heerd ausgehenden Ausbruchs. Der geschilderte Hergang kann sich bei einem einzigen Ausbruch mehrmals wiederholen, bis der Vulkan wieder in den Zustand der Ruhe gelangt; man muß überhaupt Zeiträume des Ausbruchs bei offen erhaltener Esse den Zeiträumen allmäliger Verstopfung oder Verwachsung gegenüberstellen.

Die von den Vulkanen ausgestoßenen Stoffe zerfallen daher in zwei Hauptklassen, die vulkanischen Dämpfe und Gasarten, die in die Atmosphäre übergehen, und die festen oder feuerflüssigen Ausstöße, welche am Berg und in seiner Umgebung vulkanische Ablagerungen bilden. Voran steht die stromweise sich ergießende Lava, welche nach der Erstarrung zu Gestein den umgebenden Boden meilenweit, selbst bis in unbekannte Tiefen bedeckt, dergestalt daß die Lavabildungen verschiedener Ausbruchsepochen schichtenweise sich über einander lagern; auch kommen je nach Beschaffenheit des Bodens besondere Bildungen vor (Aufwühlung eines losen Bodens zu Wällen, Aufstauung durch Hemmungen), welche an diejenigen der Wasserströme erinnern. Die Auswürflinge des Vulkans sind theils dem Berge fremd, Stücke von anderweitigen Felsarten (Kalkstein, Granit), welche aus tieferen Schichten von den aufsteigenden Dämpfen losgerissen sein müssen, theils sind es Schlacken und Laven, die entweder dem Grund des Kraters oder der ihn erfüllenden Lava selbst angehören. Es sind größere flüssig hinausgeschleuderte, in der Luft ganz oder theilweise erstarrende und sich dabei ballende Lavamassen (vulkanische Bomben), sowie kleinere Steinchen (Lapilli oder Rapilli), vulkanischer Sand und endlich vulkanische Asche, Alles Lava in zunehmender Zertheilung, womit die Menge und die Entfernung gleichen Schritt hält, auf welche sie fortgeführt werden, mächtige Ablagerungen bildend; die Asche zumal fällt aus den großen Höhen, zu denen sie ansteigt, nur langsam nieder, gelangt durch Wind in ungeheure Entfernungen, und backt durch Wasser zu vulkanischem Tuff zusammen.

Durch Anhäufung der ausgeworfenen Stoffe am Rand der vulkanischen Oeffnung erhebt sich über derselben der Aufschüttungskegel (Ausbruchkegel), dessen Masse durch die Lavaströme noch vermehrt wird. Da der Auswurf stoßweise erfolgt (nur die Asche erhebt sich ununterbrochen), und da die ausgeworfenen Körper je nach Größe und Gewicht früher oder später niederfallen, so bilden sich Schichten in der Reihenfolge von Steinchen, Sand, Asche, Lava, insbesondere um die Axe des

Bergs, ohne ihn übrigens immer gleichmäßig zu umgeben, weßhalb vollkommen kegelförmige Schichtung selten sein wird, und wohl auch längliche Vulkangipfel sich bilden können. Zuweilen bilden sich auch im Krater oder an neu aufgebrochenen Seitenöffnungen neue Aufschüttungskegel mit eigenen (Neben-) Kratern (so beim Vesuvausbruch von 1832). Man begreift, wie sich auf diese Weise der Berg durch die Ausbrüche selbst bildet, von dem ersten großartigsten an, bei welchem die Oeffnung selbst entstanden ist.

Unter den vulkanischen Gasentwicklungen nimmt der Wasserdampf die erste Stelle ein, er ist nicht nur ein Hauptbestandtheil sowohl der ruhigen „Fumarolen“ als der beim Ausbruch mit außerordentlicher Heftigkeit aufschießenden Rauchsäulen, mithin „in jedem Stadium der vulkanischen Thätigkeit vorhanden“, sondern er ist es auch vornehmlich, dessen unterirdische Ansammlung die vulkanische Explosion veranlaßt, wenn seinem Ausströmen eine theilweise Verstopfung des Kanals sich entgegensetzt, welche eine Folge der vulkanischen Ablagerungen bei früheren Ausbrüchen selbst sein kann. Wo ein regelmäßiges Aussetzen in kürzeren Zeiträumen stattfindet, wie beim Stromboli, kann man auch an eine Mechanik wie beim Geyser denken. Das Gleiche gilt aber auch von den sonstigen Gasen und Dämpfen, die sich ebenso gewaltsam Bahn brechen und feste wie flüssige Stoffe mit fortführen; die Vulkane unterscheiden sich daher von Thermen und Gasquellen nur dem Grad, nicht dem Prinzip nach. Die anderweitigen vulkanischen Gase und Dämpfe erkennt man hauptsächlich an den mineralischen Erzeugnissen, die sie durch chemische Verbindungen und Sublimationen erzeugen; voran steht hier der Schwefel nebst Schwefelmetallen und Schwefelsalzen, es sind Schwefeldämpfe und schweflige Säure bei den Ausbrüchen, während Schwefelwasserstoffgas bei der Solfatare vorherrscht; in zweiter Linie stehen Chlorverbindungen, besonders Kochsalz und Chloreisen, die von Chlorwasserstoffgas (Salzsäure) herrühren. Ungewiß ist, ob auch Kohlensäure bei den Ausbrüchen selbst im Spiel ist, ihre Rolle nach den Ausbrüchen ist schon bezeichnet. Ueber-

haupt ist der Ausbruchszustand bezeichnet durch Wasserdampf nebst Salzsäure und schwefliger Säure, der Zustand der Solfatare durch Wasserdampf und Schwefelwasserstoff, der Ruhezustand durch Kohlensäure.

Um aber die außerordentlichen mechanischen Wirkungen des vulkanischen Wasserdampfs vollständig einzusehen, muß man sich wieder an die erhöhte Spannkraft der unterirdischen Wasserdämpfe erinnern, und wenn man überdieß den Zusammenhang der höheren Spannkraft mit der höheren Temperatur bedenkt, so begreift man wiederum, wie solche heiße Dämpfe ganz andere chemische Wirkungen haben müssen, als bei der gewöhnlichen Siedhitze. In der That, da der Wasserdampf, dessen Dichte (bei einem Druck von 1000 Atmosphären) 1/4 von derjenigen des Wassers wäre, Glas zersetzt, so kann man die beigemengte Salzsäure und schweflige Säure aus Zersetzungen herleiten, welche der unterirdische Wasserdampf selbst bewirkt, und da wieder Wasser bei erhöhter Temperatur durch Metalle zersetzt wird, so hat man eine Andeutung über die Entstehung von Wasserstoffverbindungen. Doch wir haben schon oben, als wir von den Gasausströmungen für sich handelten, auf das Einzelne der chemischen Hergänge verzichtet, denen sie das Dasein verdanken. Man hat Schätzungen über die Temperatur und die Spannkraft der vulkanischen Dämpfe im Inneren des Heerdes gewagt, einerseits von der Temperatur der Laven aus, welche so hoch ist, daß Kupfer und Silberdraht darin plötzlich schmilzt, aber hier ist die Voraussetzung mißlich, daß man auf so hohe Wärmegrade die Erfahrungen über den Zusammenhang von Temperatur, Spannkraft und Dichte der Dämpfe übertragen dürfe (z. B. daß die Dämpfe bei einem Druck von 4500 Atmosphären oder bei einer Temperatur von 713 Grad die Dichte des Wassers hätten); andererseits aus den mechanischen Wirkungen, den Höhen der gehobenen Lavasäulen, den Wurfgeschwindigkeiten der aufgeschleuderten Massen, allein hier ist mißlich, daß die letzteren schwer sich bestimmen lassen, und noch schwerer die ersteren, weil man

nicht weiß, in welcher Tiefe unter den Grundflächen der Feuerberge der Ausgangspunkt der Laven liegt.

Durch die überall hervordringenden Dämpfe theilt sich die hohe Temperatur des Heerds bei heftigen Ausbrüchen der ganzen Masse des Bergs mit, wodurch Schmelzen des Schnees und weiterhin Wasserfluthen im Gefolge vulkanischer Ausbrüche bewirkt werden; gewöhnlich dringt jedoch die innere Hitze nicht bis in die Oberfläche des Bergs, der Schnee bleibt trotz der den Krater erfüllenden Fumarolen auf den Gipfeln liegen. Merkwürdig ist, daß die Lavaströme, während sie außen schnell erkalten und erstarren, im Inneren sich jahrelang flüssig erhalten, eine Erfahrung, welche uns das langsame Erkalten des Erdinneren recht anschaulich macht, wenn sich schon bei so kleinen Massen, wie die ergossenen Lavaschichten sind, so große Gegensätze zwischen der Außenfläche und dem Inneren zeigen. Beim Erkalten geht die Lava je nach der Geschwindigkeit der Abkühlung in glasartige Masse oder in krystallinisches Gestein über. Wie verheerende Wasserfluthen durch Schneeschmelzung in Folge der sich allerwärts im Berg verbreitenden hohen Temperatur entstehen können, so wird dadurch auch das Hervortreten heißer Quellen vermittelt, die ihren hohen Wärmegrad Jahrzehnte nach dem Ausbruch noch bewahrt haben.

Wie die Thermen und Gashauchen in allen Zonen, ja auch in den verschiedensten Höhen über dem Meer vorkommen, so auch die Vulkane, mit denen ja eben jene als Ausflüsse einer einzigen Kraft vergesellschaftet vorkommen, und das Aufsteigen vulkanischer Erzeugnisse aus dem offenen Meer zeigt auch untermeerische Vulkane an, deren Annahme durch die zahlreichen vulkanischen Inseln, die sich über den Meeresspiegel erhoben haben, unterstützt wird. Nicht zu verkennen aber ist eine Verbindung einzelner Vulkane zu kleineren und größeren Gruppen (zumal wenn man die Spuren erloschener vulkanischer Thätigkeit zuzieht), in der Art, daß sie in unterirdischem Zusammenhang stehen, und sozusagen einen gemeinschaftlichen Heerd haben. Dieß offenbart sich in

der abwechselnden Thätigkeit der zu einer Gruppe gehörigen Einzelvulkane, und wird durch das gedrängte Auftreten theils erloschener, theils noch thätiger Vulkane in manchen Gegenden sehr nahe gelegt; Oeffnung neuer Essen mag hin und wieder die Schließung alter (erloschene Vulkane) ersetzt haben. Man unterscheidet sofort in der Gruppirung der Vulkane zwei Grundformen. In der einen, den Centralvulkanen, ist ein Hauptkanal vorhanden, um welchen her nach allen Richtungen Nebenkanäle sich befinden, so daß jener den Mittelpunkt vieler fast gleichmäßig nach allen Seiten hin wirkender Ausbrüche bildet, und Island ist eines der merkwürdigsten Beispiele hievon. In der anderen, den Reihenvulkanen, folgen sich mehrere Kanäle in einer Richtung, welche somit gemeinschaftlich von einer Längenspalte der Erdrinde ausgehen, sei es daß die einzelnen Vulkane einer Reihe auf dem Rücken eines ursprünglichen Gebirges sitzen, wovon die Anden das großartigste Beispiel liefern, sei es daß sich vom Meeresgrund eine Reihe vulkanischer Inseln erhebt, welcher dann meistens ein ursprüngliches Gebirge zur Seite läuft, an dessen untermeerischem Fuß gleichsam die Vulkane sich erheben. Vereinzelte Vulkane, welche sich in den weiten Räumen zwischen den einzelnen Vulkangruppen befinden, ohne in einer sichtbaren Verbindung mit anderen zu stehen, sind gleichsam nur als die einfachsten unter den Centralgruppen zu betrachten.

Allein mehrere Vulkangruppen vereinigen sich wieder unter sich und mit vereinzelten Feuerbergen zu Gruppen höherer Ordnung, zu vulkanischen Zonen oder Kreisen, indem sie sich entweder mehr nach einer Längenrichtung oder im Umfang einer größeren Fläche verbreiten, und beurkunden die keineswegs blos örtliche, sondern tellurische Natur des vulkanischen Prozesses. Diese Zonen folgen in auffallender Weise den Küstenstrecken und Inselfluren, häufig zugleich dem Streichen der Gebirgssysteme. Von 163 thätigen Vulkanen, welche man noch auf der Erde zählt, liegen 96 auf Inseln, und von den übrigen 67 ist, mit Ausnahme zweier, keiner mehr als 40 Meilen vom Meer entfernt. Jene beiden ganz binnenländischen

Vulkane (Peschan und Hotscheu) befinden sich wie die große Solfatare von Urumtsi im innerasiatischen Hochland. Kein Wunder, daß man die Nachbarschaft des Meeres für wesentlich zum Bestehen der Vulkane hielt, zumal da auch das Erdbeben ans Meer gebunden zu sein scheint, wir werden aber auf diese Frage nach der Erörterung dieses letzten vulkanischen Gegenstandes zurückkommen. Die westitalische Zone streicht, die vulkanischen Bildungen Südfrankreichs umfassend, der Küste und dem Apennin entlang in derselben Richtung, welche auch die aus vulkanischen Gesteinen bestehenden griechischen Inseln entlang dem Pindus befolgen. Die südamerikanische Zone folgt der Westküste des Erdtheils und fällt selbst ganz mit dem Gebirgssystem der Anden zusammen. Die ostasiatische Zone erstreckt sich in der Inselflur vom bengalischen Golf (Barrenisland) durch die Inselketten von Sumatra und Java über die Molukken und Philippinen bis Kamtschatka, und die australische Zone zweigt sich gleichsam von der letzteren ab, nämlich von den Molukken aus in dem Inselkreis, der Australien von hier bis Neuseeland umgiebt. Aehnliches läßt sich von altvulkanischen Bildungen sagen, eine Zone von solchen zieht sich von der Eifel bis nach Siebenbürgen dem mitteleuropäischen Gebirgsgürtel entlang, desgleichen eine dem Südfuß der Alpen entlang. Den Mittelpunkt eines vulkanischen Kreises bildet Island, ebenso Teneriffa den eines die Insel Palma umfassenden Kreises.

In welch engem Zusammenhang das Erdbeben mit den Vulkanen steht, geht schon daraus hervor, daß Erschütterungen des Bodens, begleitend und häufig auch vorhergehend, eine wesentliche Stelle in den vulkanischen Ausbrüchen haben. Hier ist aber die Erschütterung auf einen engen Raum beschränkt und erstreckt sich ebendeßhalb nicht weiter, weil die unterirdischen Gewalten im vulkanischen Ausbruch zur örtlichen Entladung kommen; im Gegentheil pflegen die großen und weitverbreiteten Erdbeben in die Ruhezeiten der Vulkane zu fallen. Bei dem großen Erdbeben von Lissabon wurde die Rauchwolke des Vesuvs gleichsam in den Berg ein-

gesogen; während der Ruhezeit (von 1825 bis 1831) der beiden Hauptvulkane Italiens ging kein Jahr ohne die heftigsten Erdstöße in den Alpen, in Italien oder Spanien vorbei; während in der erdbebenfreien Folgezeit (bis 1846) abwechselnd der eine oder andere Berg arbeitete; auch aus Amerika sind Fälle aufgezeichnet, wo ein vulkanischer Ausbruch eines seit längerer Zeit ruhenden oder gar eines ganz neuen Feuerbergs einer Folge von Erdbeben ihr Ziel setzte. Wenn Erdbeben mit Spaltungen des Bodens begleitet sind, so ist daraus auch heißes Wasser und Schlamm oder mephitisches Gas ausgebrochen. Bedenkt man endlich, daß die meisten der zahlreichen Erdbeben, welche die Geschichte kennt, in vulkanischen Gegenden vorgekommen sind, so kann über den engen Zusammenhang kein Zweifel sein, der zwischen den Erdbeben und Vulkanausbrüchen besteht, sowie darüber, daß die gemeinschaftliche Ursache in der Ausdehnsamkeit unterirdischer Dämpfe und Gase zu suchen ist, dergestalt daß diejenigen, welche den Weg zu einer Esse nicht finden, sei es daß sie fern davon sich entwickeln, oder daß der Zugang zu derselben größeren Widerstand darbietet, die vorherrschende Ursache der Erdbeben sind. Doch darf man keineswegs dabei stehen bleiben, denn gleichwie der Boden schon durch äußere Gewaltsamkeiten und Explosionen (bei Bergstürzen, Gewittern, Brandungen, Kanonaden) erschüttert wird, so muß auch jede gewaltsame Bewegung im Inneren, wie Höhleneinstürze, heftige mit Explosion verbundene chemische Prozesse, dem Boden sich mittheilen in vereinzelten Erdstößen oder längeren Bebungen, und an dergleichen hat man gewiß bei den örtlichen Erdbeben in nicht vulkanischen Gegenden zu denken, welche, wenn auch seltener, vorkommen.

Nicht übergehen dürfen wir einen kaum zu läugnenden, aber nicht gehörig aufgeklärten Zusammenhang der Erdbeben mit meteorischen Hergängen. Während nämlich allerdings auch die Vulkanausbrüche, sofern sie meistens gewittererzeugend wirken, einen solchen Zusammenhang haben, den wir uns leicht zurechtlegen konnten, so scheint bei den Erdbeben ein-

mal eine räthselhafte Abhängigkeit von der Jahreszeit stattzufinden, wornach in Südeuropa wie in Skandinavien bei weitem die meisten in die Wintermonate, die wenigsten in die Sommermonate fallen. Alsdann erfolgten große Erdbeben wie das von Lissabon (1755), von Calabrien (1783) nach ungewöhnlichem Regen, was in die Grundzüge der Erdbebensmechanik ganz gut paßt; allein amerikanische Erfahrungen behaupten das gerade Gegentheil, daß außerordentliche Regenzeiten dem Erdbeben folgen und anhaltende Dürre vorausgehen soll, was weniger leicht sich erklären würde. Außerdem werden heftige Windstöße, Höhenrauch, elektrische Erscheinungen, namentlich Gewitter im Gefolge von Erdbeben angeführt, ja selbst, was wir aber geradezu nicht glauben, Sternschnuppen und Feuerkugeln! Für ein irriger Volksglaube wird von den Sachkennern erklärt, daß Windstille, drückende Hitze, dunstige Luft Vorboten des Erdbebens, sowie daß tiefe Barometerstände damit verbunden sein sollen. Um so weniger darf man sich durch solche Angaben in der Grundansicht von den Erdbeben stören lassen, daß es im Allgemeinen vulkanische Erscheinungen auf breitester Grundlage sind, vorzugsweise herrührend von sozusagen verhaltenen unterirdischen Wasserdämpfen.

Man unterscheidet dreierlei Arten von Bodenbewegung, die wellenförmige, die sich wagrecht fortpflanzt, und wobei sich der Boden abwechselnd hebt und senkt, öffnet und schließt, die aufstoßende, wobei heftige Stöße senkrecht von unten nach oben gehen, zertrümmernd und verwüstend, Gegenstände aufschleudernd, und die rüttelnde oder wirbelnde, wenn mehrere Bewegungen sich durchkreuzen, wodurch schwere Massen Drehungen oder Umsturz erleiden. Mit der Bewegung des Bodens ist unterirdisches donnerartiges Getöse verbunden, manchmal als Vorbote des Bebens; zuweilen findet lang anhaltendes Getöse im Inneren auch ohne nachfolgende Erschütterung statt. Von dem Mittelpunkt der Bewegung, wo sie selbst aus größerer oder geringerer Tiefe stammt und aufstoßend oder rüttelnd wirkt, pflanzt sich dieselbe über größere oder geringere Flächenräume wellenförmig fort. Diese Erschütterungs-

fläche des Erdbebens ist oft sehr beträchtlich, sie umfaßte z. B. bei dem von Lissabon einen Raum größer als Europa, und die Bewegung wurde gleichzeitig auf Mogador, Madeira, Island und im europäischen Festland bis nach Böhmen und Südschweden empfunden. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß je größere Theile der Erdrinde in Bewegung gesetzt werden, in desto größerer Tiefe auch der Sitz der Kraft zu suchen sei. Die Erschütterung pflanzt sich von den Mittelpunkten wohl nach verschiedenen Richtungen fort, oft jedoch vorherrschend nach gewissen Weltgegenden und in diesen auch weiter als in den übrigen. Man hat dieselben Erschütterungszonen (sismische Zonen) genannt und ihre Richtung an verschiedenen Orten durch die mittlere Fortpflanzungsrichtung der stattgefundenen Erdbeben ermittelt. Sie scheinen dem Streichen der Gebirge zu folgen und bieten hierin eine Aehnlichkeit mit den vulkanischen Zonen dar. Da sie in der Regel von vulkanischen Gegenden ausgehen, so hat man aus den äußersten Punkten, zu denen sie sich fortpflanzen, Erschütterungskreise der vulkanischen Heerde herzuleiten gesucht, gleichsam die weitesten Gebiete der vulkanischen Kraft einzelner Vulkan-Gruppen und -Zonen. Bei der wellenförmigen Fortpflanzung der Erschütterung werden manchmal Gegenden übersprungen; sie theilt sich auch dem Wasser mit, wobei Wassersäulen gehoben werden und an den Küsten auffallende Rückzüge des Meers und Ueberfluthungen abwechselnd stattfinden. Auch in der Dauer finden, wie in der Ausdehnung und Stärke, große Unterschiede Statt; die heftigsten sind oft nur augenblickliche Erdstöße, oft dauert die wogende Bewegung des Bodens mit größeren oder kleineren Unterbrechungen viele Monate fort.

Das nach Stärke und Ausdehnung ausgezeichnetste Erdbeben der neueren Zeit war das Lissaboner im November 1755. Schon der erste Stoß vernichtete den größten Theil der Stadt, das Meer stieg plötzlich und ein neugebauter Kai versank mit Tausenden von Menschen und vielen Fahrzeugen; das Meer fand sich an der Stelle jenes Kais 600 Fuß tief. Zu Tanger stürzte ein Vorgebirg ein, bei Marokko versank ein

Dorf in einen Schlund, bei Mogador bildete sich durch Versinken einer Klippenreihe eine für die größten Schiffe geeignete Rhede. Das Versinken ganzer Landstrecken, wie des Kais von Lissabon und der Klippen von Mogador, fand im Meridian von Lissabon statt, die Stöße auf dem Land aber, wie die ungeheuern Wellenbewegungen des Meeres, die 50 Meilen weit im atlantischen Meer sich erstreckten, erfolgten in einer zu jenem Meridian senkrechten Richtung. Man schloß daraus, daß der Ausbruch von einer in der Richtung von Lissabon nach Mogador tief unter dem Meeresboden befindlichen unterirdischen Kluft ausgieng; der Durchbruch ihrer Decke veranlaßte den Einsturz der Wände mit allem dem, was sich darauf befand, in unergründliche Tiefe, aus der keine Trümmer mehr zum Vorschein kamen. Das in die unterirdische Kluft eingedrungene Meerwasser mochte sofort Anlaß genug zu ferneren Bebungen geben, und in der That gab es den ganzen November hindurch wenige Tage, wo nicht Lissabon und andere zum Theil entlegene Orte neue Stöße empfanden; es ging selbst in den nächstfolgenden Jahren so fort, wobei Lissabon stets Mittelpunkt der Erschütterung blieb. Ueberhaupt war das Jahrzehnt der fünfziger Jahre im vorigen Jahrhundert besonders reich an Erdbeben, man zählt deren über 207, während aus den beiden vorangegangenen, aus den dreißiger Jahren nur 50, aus den vierziger Jahren nur 43 gemeldet werden (darunter nur das Jahr 1741 ganz frei).

Wir können in die geschichtliche Statistik der Erdbeben, sowie der Vulkanausbrüche nicht weiter eingehen; aus der Geschichte des Lissaboner Erdbebens aber mag erhellen, welcher Art die bleibenden Veränderungen in der Erdrinde sind, welche von Erdbeben herrühren. Es sind überhaupt theils Einstürze und Einsenkungen, theils Hebungen des Bodens und Verschiebungen der Schichten, theils Bildungen tiefer Spalten. Man darf annehmen, daß ein großer Theil der Spalten und Klüfte an der Außenseite und im Inneren der Erdrinde durch Erdbeben bewirkt worden sind, denen überhaupt eine große Rolle bei der Umgestaltung des Erdbodens in den vorgeschicht-

lichen Zeiten zugeschrieben werden muß, wo die plutonischen Kräfte in ungleich höherem Maße wirksam waren. Die meisten jener älteren Spaltungen sind sofort durch heraufgeschobene steinartige oder metallische Massen ausgefüllt worden, und erscheinen heutzutage als Gänge und Gangsysteme. Wir kommen indessen auf die bleibenden plutonischen Bildungen erst weiter unten zu sprechen und blicken hier nochmals auf den Kreis der nunmehr ermessenen Erscheinungen nach ihrem gemeinsamen Merkmal zurück.

Dieses gemeinsame Band der vulkanischen Erscheinungen ist nichts anderes als das unterirdische Wasser, denn wir mußten ja dem Wasserdampf die bei weitem vorherrschende Stelle unter den gasigen Stoffen zugestehen, deren Ausdehnsamkeit die vulkanischen Erscheinungen selbst mit Einschluß des Erdbebens bewirkt. Nach der Ansicht, welche heutzutage die meisten Sachkenner vereinigt, ist dieses Wasser von außen eingedrungen, es ist seinem Ursprung nach meteorisch, es knüpft sich also die ganze Reihe der vulkanischen Erscheinungen an den Kreislauf des Wassers an. Allein man hat doch auch bezweifelt, ob alles unterirdische Wasser diesen Ursprung habe und sich nach anderen Herleitungen umgesehen. Man hat z. B. an wasserbildende chemische Prozesse gedacht, und in der That läßt sich nichts Entscheidendes gegen die Möglichkeit sagen, daß bei den zahlreichen chemischen Prozessen, die im Erdinneren vorgehen müssen und die mannigfaltigen Gase erzeugen, auch Wasser sich bilden möge, dessen Ausscheidung ja so häufig mit der von Kohlensäure verbunden ist. Man hat ferner an unterirdische Behälter gedacht, die mit dem Meer in unmittelbarer Verbindung stehen, und man muß auch hier zweierlei anerkennen. Einmal mag es, so gut Kanäle da sind, durch welche Süßwasserquellen aus dem Meer aufsteigen, auch solche geben, durch welche umgekehrt Meerwasser in unterirdische Räume gelangt. Alsdann bleibt das fast ausschließliche Vorkommen der heutigen Vulkane und der Mittelpunkte der Erdbeben auf Küsten und Inseln eine so auffallende Erscheinung, daß man sich einer ursächlichen Beziehung kaum erwehren kann. Kurz, wir

wagen weder unterirdische Wassererzeugung noch unterirdische Verbindungen mit dem Meer ganz auszuschließen.

Wir wenden uns nun zu einem zweiten Kreis von Erscheinungen, wo das Wasser an der Erdoberfläche die Hauptrolle spielt, zu den vorherrschend (wenn auch nicht ausschließlich) neptunischen Ablagerungen und Ausrodungen. Wenn man Ablagerung oder Sedimentbildung im weitesten Sinn nimmt, so gehört allerdings nicht nur die Bildung der Schneelager (zumal der unvergänglichen) und der Gletscher hierher, sondern auch die vulkanische Ablagerung von ausgeworfenen oder ausgeflossenen Stoffen. Da es uns aber hier nicht sowohl auf die Erzeugnisse, als auf die Hergänge und die denselben zu Grunde liegenden Ursachen ankommt, so handeln wir von den plutonischen Ablagerungen zugleich bei Betrachtung der plutonischen Gewalten, wie dieß bereits bei den Vulkanen geschehen ist. Wir haben daher von der Ablagerung durch Absatz aus Wasser zu handeln, welche eine Hauptrolle bei Bildung der jetzigen Erdrinde gespielt hat, aber auch von derjenigen durch gefrornen Niederschlag aus der Atmosphäre und durch organische Kräfte, um in Gletschern und Infusorien wahre geologische Mächte zu erkennen.

Das Wasser enthält stets andere Stoffe aufgelöst und ist von denselben mehr oder weniger gesättigt; die Menge des bis zur Sättigung auflösbaren Stoffs nimmt zu mit der Temperatur, und überdieß werden manche Stoffe allererst in Wasser von höherem Wärmegrad auflösbar. Solche aufgelöste Stoffe setzen sich wieder aus dem Wasser ab, wozu theils Verdunstung desselben beitragen kann, theils bloses Erkalten bei gesättigtem Zustande. Von aufgelösten Stoffen sind fein zertheilte, mechanisch im Wasser schwebende Stoffe (Suspension) zu unterscheiden, welche durch Aufregung und Bewegung im Wasser sich erhalten, bei eingetretener Ruhe aber von selbst niederfallen und (auch unter Beihilfe der vorhin erwähnten Umstände) ebenso auf dem Grund sich ablagern, wie aufgelöste Stoffe. Bewegte Wasser (Flüsse, Meeresströmungen) führen

auch Stoffe mannigfaltiger Art in größeren Massen fort, schwimmende an der Oberfläche, sinkende auf dem Grund (Geschiebe) und setzen solche Gegenstände ab, wo sich ein Hinderniß der Fortschwemmung entgegensetzt. So sehen wir in den unter unseren Augen vor sich gehenden neptunischen Bildungen stets Auflösung und Absetzung, Verschwemmung und Anschwemmung sich gleichsam in die Hand arbeiten. Aus je feiner vertheiltem Zustand die Stoffe sich absetzen und aus je ruhigeren Wassern, desto mehr folgt die Ablagerung den hydrostatischen Gesetzen, wornach sich wagrechte Schichten und gleichartige Massen bilden, welche sofort unter dem Walten der sogenannten Molekularkräfte, der Krystallisation, Cohäsion, Adhäsion (mit Hilfe sogenannter Bindemittel bei schwebenden Stoffen), mitunter auch der chemischen Verwandtschaft in feste und harte Massen (neptunische Gesteine) übergehen.

Auf diese Art haben sich unter Wasser in der Vorzeit mächtige Flötzbildungen abgelagert, als Wasser von erhöhter Temperatur, gesättigt mit Erden und Salzen, die jetzigen Landräume überflutheten. Solche Bildungen, zunächst in Form eines schlammartigen Niederschlags, finden auch heutzutage fortwährend auf dem Grund aller stehenden Gewässer statt, aber freilich entziehen sich dieselben, zumal am Meeresboden, der unmittelbaren Anschauung. Ob sich derselbe in Folge solcher Ablagerung allmälig erhöhe, ist eine nicht zu entscheidende Frage, denn es würden daraus nicht nothwendig Veränderungen des Meeresspiegels folgen, schon deßhalb weil durch den Absatz aufgelöster und schwebender Stoffe die Masse des zurückbleibenden Wassers zugleich sich vermindert, aber auch weil die ablagernde und wegschaffende Thätigkeit des Wassers überall Hand in Hand geht, und daher auch etwaigen Erhöhungen des Meeresbodens anderweitige Aushöhlungen entsprechen könnten; überdieß endlich kann bei dem gegenwärtigen Zustand der Meere, ihrer gleichbleibenden Temperatur und Armuth an Mineralgehalt die Ablagerung nicht wohl bedeutend und derjenigen jener vorzeitlichen Kalk- und Thonmeere keineswegs vergleichbar sein. Aus dem Grund von Salzseen, die häufig das Meer

an Mineralgehalt weit übertreffen, zieht man bei großer Trockenheit beträchtliche Mengen von krystallisirtem Salz, deßgleichen finden sich dicke Krusten von Soda bei dem jährlichen Austrocknen oder bei den Rückzügen der Natronseen. Auf diese Art können kleinere stehende Gewässer durch die allmälige Erhöhung des Bodens versumpfen und austrocknen.

Zugänglicher sind uns die Ablagerungen, welche an der Gränze von Meer und Land stattfinden, sowie diejenigen, welche von Quellen und fließendem Wasser herrühren. Die eigenthümlichen Verhältnisse der Ablagerung an den Gestaden größerer Wassermassen begreift man unter dem Namen der Strandbildungen. Bei der beständigen Bewegung des Wassers werden die losen Bodenbestandtheile der Küsten bald landwärts, bald seewärts getragen, dergestalt daß beide Schwemmungen gar wohl sich Gleichgewicht halten können und die Küsten unverändert bleiben. Ebensowohl kann aber entweder ein Vorrücken oder ein Zurückweichen des Landes eintreten, wie denn ersteres an Deutschlands Nordwestküste, letzteres an der brittischen Ostküste stattfindet, so daß es dort die anschwemmende, hier die wegspülende Thätigkeit des Wassers gewinnt; Brügge und Ravenna sind durch Anschwemmung in den geschichtlichen Zeiten vom Meer gleichsam weggerückt worden, und das Versanden der Häfen ist überhaupt ein Zeichen vom Wachsen des Landes. Wenn der herbeigefluthete Schlamm und Kies in der Nähe der Küsten abgesetzt wird, so entstehen Untiefen und Sandbänke, welche sich der Küste als schützende Dämme vorlagern; die dazwischen befindlichen Meerestheile bilden Kanäle, Buchten und Teiche (Lagunen), welche meistens wegen einmündender Flüsse minder salziges Wasser enthalten, ja auch allmälig durch das Geschiebe dieser Flüsse ausgefüllt werden können. Wenn Haufwerke größerer und kleinerer Massen, die durch außerordentliche Sturmfluthen angeschwemmt werden oder von Einstürzen herrühren, sofort längere Zeit der gleichmäßigen Bewegung des Meers ausgesetzt sind, so wirkt diese nach Art eines Schlämmwerks darauf; die feinsten schlammartigen Theile lagern sich mehr meerwärts ab, worauf land-

wärts Sandschichten, zuletzt Kieslager folgen; indem alsdann stärkere Erregungen des Meeres jede dieser Ablagerungen weiter meerwärts führen, so können solche Lager von Lehm, Sand und Gerölle wiederholt unter sich wechseln, und daraus entsteht der sogenannte Marschboden des Strandes. Bei diesen Hergängen wirken auch die Kalkschaalen der Seethiere mit, indem sie nicht nur an sich große Bänke bilden (Austern), sondern auch eine Art Mörtel zur Verwandlung loser Strandschichten in steinartige Massen liefern (Riffstein); es bilden sich auf diese Art wahre Felsen oder Riffe an den Küsten des Mittelmeers.

Weiter landeinwärts setzt der Seewind die Strandbildung durch Anhäufung von Flugsand zu Sandwällen oder Dünen fort, die in größerem oder kleinerem Abstand der Küstenlinie als Hügelzüge folgen, von 20 bis 100 Fuß Höhe, aber auch von bedeutender Breite bis zu einer Meile, indem sich mehrere Dünenzüge hintereinander erheben, die entweder zu einer einzigen Masse zusammenwachsen oder durch Einschnitte geschieden sind. An manchen Küsten, z. B. an der französischen Südwestküste, findet ein bedeutendes Vorschreiten der Dünen statt, wodurch nutzbares Land versandet und Flußläufe theils abgelenkt, theils seichter gemacht werden. Auf demselben Hergang beruht auch das Vorschreiten der Sandwüsten in der Richtung der herrschenden Winde, und Ruinen, welche man mitten zwischen Sandhügeln antrifft, bezeugen es, welch bedeutende Umgestaltungen dieser Hergang von Sandablagerung durch Wind in den geschichtlichen Zeiten hervorgebracht hat. Die herrschenden Ostwinde in der heißen Zone haben in der Sahara den Sand dem westlichen Theil zugeführt und im östlichen den Felsboden entblößt.

Blicken wir von unseren Strandbildungen in die Vorzeit zurück, so fallen ohne Zweifel eine Menge einzelner Gebilde, wie auch größere Landstrecken unter dieselbe Gattung von Bildungen. Das Vorkommen von entschiedenen Ufergebilden in verschiedener Höhe und verschiedenem Abstand von der jetzigen Küste deutet auf wiederholte Veränderungen des Meeresspiegels

und der Meeresgränze in Folge solcher Bildungen. Man erkennt deutlich die alten Strandlinien, häufig zwei und mehrere, die dann eine Folge von Terrassen mit einer Breite von mehreren Meilen bilden, in Höhen von 40, 100, 200, 600 bis über 1000 Fuß jetziger Seehöhe, und man könnte nur darüber im Zweifel sein, ob dabei bloser Rückzug des Meers in Folge von unterirdischer Hebung der Küste, oder wirkliches Wachsthum des Landes in die Höhe wie in die Weite durch An- und Aufschwemmung im Spiel ist. Ueberhaupt ist es bei den älteren Bildungen aller Art schwer zu entscheiden, welcher von verwandten Hergängen in jedem einzelnen Fall zu Grunde liegt. Den schmalen Landzungen (Nerungen, z. B. an der Südküste des baltischen Meers), welche die unter dem Namen der Haffe bekannten Meerestheile absondern, mögen alte Sandbänke zu Grunde liegen; überhaupt möchte man in flachen und niedrigen Küstenvorsprüngen, ja in ganzen Halbinseln dieser Art (z. B. Jütland) meerwärts vorangeschrittenes Land sehen dürfen, sowie umgekehrt manche Busen im Flachland (wie die holländische Südersee) Meereseinbrüche sind, die unter den Begriff der Erosion fallen. Die weitgedehnten Hügelreihen, ja ganze Landrücken, welche in Flachländern (wie Norddeutschland, Südrußland) niedrigere Küstenstriche von weiter landeinwärts gelegenen Niederungen trennen, sind vielleicht nichts anderes als alte Dünenbildungen; und wo der umgekehrte Fall, d. h. ein Fortschreiten des Meeres stattfand, da mögen alte Dünen vom Land abgetrennt und in Inselketten verwandelt worden sein (z. B. von Texel bis zur Wesermündung), doch hat man vielleicht auch hier wie bei den Nerungen die Ursache in der Bildung von vorgelagerten Sandbänken zu suchen, wenn man nicht vorzieht, auch die Nerungen vielmehr hieher zu ziehen.

In der That arbeiten sich die beiden Thätigkeiten des Meeres nicht nur in die Hand, sondern man kann bei mancher Erscheinung (wie bei den eben angeführten) die Ursache ebensogut in der landbildenden wie in der landzerstörenden oder ausrodenden Thätigkeit des Meeres (Meereserosion) suchen. Diese letztere Thätigkeit des Meeres und der stehenden Gewässer

überhaupt geht an den Gestaden stetig fort, um so mehr, in je bedeutenderen Bewegungen die Gewässer begriffen sind. Wir werden diese Bewegungen und ihre Ursachen an einer anderen Stelle zu erörtern haben, und heben hier nur ihre ausroden-den Erfolge hervor. Die zerstörende Kraft der Brandung an Steilküsten steht derjenigen der gewaltigsten Wasserfälle zur Seite oder voran. Wie das Meer in Folge der Fluthbewegung (denn an diese hat man hier vorzugsweise zu denken) an Küsten aller Art, zumal den flachen anschwemmend und wegschwemmend wirkt, hat sich so eben bei Betrachtung der Strandbildungen gezeigt. Viele Flachküsten leiden durch wiederholte Meeresüberschwemmungen oder sind bereits theilweise verschlungen; man kann in der That mehrere eigentliche Meereseinbrüche geschichtlich nachweisen, wie z. B. die bereits erwähnte Südersee, die im dreizehnten Jahrhundert an die Stelle eines früheren Landsees (Flevus) getreten ist, und sehr wahrscheinlich gehören mehrere andere Buchten und Busen hieher, sowie die golfartigen Flußmündungen, wo fortdauernde Meereseinbrüche den vom Strom abgelagerten Schlamm weggespült haben (weßhalb man sie auch negative Delta genannt hat), doch muß man auch hier eine andere Erklärung nicht ganz beiseit setzen, daß nämlich der Strom einen ursprünglichen Meerbusen bisher nicht auszufüllen im Stande war. Helgoland und andere Inseln, sowie die Schleswiger Küste sind bereits beträchtlich verkleinert worden, ja in vorgeschichtlicher Zeit ist ohne Zweifel auf diesem Wege England von Frankreich losgerissen worden und der Kanal als ein Meeresdurchbruch zu betrachten, in welche Klasse gewiß auch andere Meerengen gehören, welche Binnenmeere vom übrigen Meer trennen, so vor allem der Bosporus, ferner die Straßen von Gibraltar, Babelmandeb. Bei solchen Meeresdurchbrüchen mag die Ursache namentlich in besonderen Meeresströmungen zu suchen sein, welche dann auf ganz ähnliche Art gewirkt haben, wie die Ströme des Landes bei ihren Durchbruchsthälern. So haben wir also an einer Menge unterwaschener oder eingestürzter Steilküsten, abgetrennter Felsriffe und Klippen, Küstenhöhlen,

durchgerissenen Landengen und neugebildeten Buchten, in allen Theilen der Erde zahlreiche Beispiele von der großartigen zerstörenden Wirksamkeit des Meeres. Und sofern die Wellenbewegung von der Fluth und Ebbe wenigstens zum Theil herrührt, sofern diese der allgemeinen ostwestlichen Strömung der Meere zu Grunde liegt, sowie allen besonderen Strömungen, die von derselben herstammen, so haben wir schon im vierten Abschnitt eine geologische Rolle der Fluth und Ebbe angedeutet. Auch bei manchen Landseen geht ähnliches wie beim Meer in kleinerem Maßstab vor sich, z. B. Höhlenbildung.

Wie das brandende und fluthende Meer an den Küsten, so sind die fließenden Wasser für alle Theile des Festlands gleichsam natürliche Schlämmwerke. Die stets fortgehenden Ablagerungen der Quellen haben wir bereits angedeutet, wie namentlich heiße Quellen allmälig bedeutende Lager von Travertinokalk oder ganze Kieselfelsen absetzen, desgleichen die Mineralwasser ihre erdigen oder salzigen Bestandtheile. Dergleichen findet auch selbst im Inneren der Erde statt, in dem verborgenen Wurzelsystem der Quellen, in Höhlen (Tropfstein), und manche unterirdische Kanäle und Spalten mögen sich dadurch mit der Zeit verstopfen. Besondere Merkwürdigkeiten, auf die wir uns jedoch nicht näher einlassen können, sind mannigfaltige Gemengsel von Steinen, Knochen (Knochenhöhlen), Versteinerungen, Erzen (Bohnerz), ja selbst gediegenen Metallen, die man in Folge der spülenden und schlämmenden Wirksamkeit des Wassers, zum Theil unter chemischer Mitwirkung, in Höhlen und Brunnen antrifft. Desgleichen haben wir schon oben in der Geschichte der Quellen die auflösende und wegspülende Thätigkeit des unterirdischen Wassers erwähnen müssen, und ohne Zweifel ist diese ausrodende Thätigkeit desselben (Quellenerosion) die überwiegende. Es hölt unterirdische Kanäle und Becken aus, wie die Schlotten in Thüringen, die Katabothren in Griechenland, deren wir schon oben gedachten, die eigentlichen Höhlen, deren besondere Ablagerungen wir so eben andeuteten. Indessen darf keineswegs alle Höhlenbildung auf Quellenerosion zurückgeführt

werden, vielmehr ist auch ebensoviel von diesen Erscheinungen auf Rechnung von plutonischen Gewalten zu setzen, und wir haben beim Erdbeben anzuführen gehabt, wie es ebensowohl Höhlen durch Einstürze ausfüllt, als Höhlen und Klüfte hervorbringt.

Bei den Flüssen selbst ist die ablagernde und ausrodende Thätigkeit nicht minder eng verbunden, denn alles, was sie hier absetzen, haben sie dort weggespült, ja die Stromerosion ist hier sozusagen in dem Maße das Ursprüngliche, daß die ganze Geschichte der Ströme darauf beruht. Bäche und Ströme haben sich ihre Thäler selbst gegraben und in diesen wieder ihre Betten (gleichsam Thäler in den Thälern). Manche Wildbäche und Wasserfälle haben unter unseren Augen ihre Stellen verändert; die Kander in der Schweiz hat sich seit 1714 ein neues Bett gegraben, welches 100 Fuß unter dem alten Bette lieg; der Niagara ist in 40 Jahren um 150 Fuß stromaufwärts zurückgewichen. Die Stufen (Terrassen), die sowohl stromentlang sich folgen (zumal in den oberen Läufen), als auch den Strom, ihm gleichlaufend, begleiten (häufig auch im Mittellauf), d. h. Querstufen und Längenstufen, sind das Werk dieser ausrodenden Thätigkeit des Wassers und enthalten sozusagen die Geschichte des Stroms, indem aus den hinter oder über einander liegenden Stufen auf ebensoviele Hauptveränderungen des Stromlaufs zu schließen ist. Wir gehen hierauf nicht näher ein, weil wir in einem späteren Abschnitt auf diesen Gegenstand zurückkommen, sofern er die gegenwärtigen Zustände der Wassersysteme betrifft. Die Thäler selbst also sind der Mehrzahl nach das Werk ihrer Flüsse, oder die meisten Thäler dürfen als Ausrodungsthäler betrachtet werden, hervorgebracht durch die Stoß- und Tragkraft der fließenden Wasser, wozu der langsame Erfolg der atmosphärischen Niederschläge nimmermehr ausreichen, sondern blos Beiträge liefern konnte, wie wir sehen werden. Indessen wird damit wiederum keineswegs behauptet, daß alle Thäler diesen Ursprung haben, sowenig als alle Höhlen Erosionshöhlen sind, vielmehr haben wir weiter unten noch Thalbildungen durch

Einsturz und durch Erhebung zu erwähnen. Am deutlichsten aber zeigt sich die Thalbildung durch Stromerosion in den Durchbruchsthälern, wo sich die Ströme, sei es durch schmälere Gebirgsketten, oder durch breitere Hochplatten hindurchgearbeitet haben.

Die Flußgeschiebe rühren nicht minder von der zerstörenden Thätigkeit des fließenden Wassers her, auf ihnen beruhen aber zugleich die Stromablagerungen. Sie bestehen in Schlamm, Sand und Kies (mitunter auch größeren Blöcken), sie verändern sich vielfach durch die Bewegung, indem größere Stücke dabei zertrümmert, eckige abgerundet oder abgeschliffen werden (Gerölle). Die Absätze der fließenden Wasser sind aber um so mannigfaltiger, je mannigfaltiger (je nach Gefälle und Weite des Bettes) die Geschwindigkeit der Strömung ist. Wo diese am größten ist, bleiben nur die schwersten und größten Massen (bis zu Felsblöcken) liegen, bei abnehmender Geschwindigkeit die leichteren und kleineren Theile. In den Quellbezirken, dem Gebiet der Wasserfälle und Wildbäche, treffen wir große Blöcke, sowie Schuttkegel manchmal von stundenweiter Erstreckung. Wo überhaupt ein Wechsel des Wasserreichthums oder der Geschwindigkeit stattfindet, da lagert sich Flußgeschiebe ab; im Lauf durch flache Ebenen entstehen dadurch Inseln oder Werder und Auen oder Uferausweitungen, und in Folge dieser eigenen Erzeugnisse des Stroms ändert dieser sein Bett (das Wandern der Ströme, z. B. des ehedem zum Kaspisee gehenden Amu). Wo aber der Fluß durch Eindämmung genöthigt ist, sein Geschiebe stets an derselben Stelle abzusetzen, da erhöht sich sein Bette mehr und mehr über die Umgebung, so daß z. B. Po und Etsch höher liegen, als das umgebende Land. Bei den zeitweisen Ueberschwemmungen, wodurch ganze Thalflächen unter Wasser gesetzt werden, erfolgt die Ablagerung wie die am Boden stehender Gewässer; der ganze Thalboden erhöht sich, wovon die durch den Nilschlamm bewirkte Erhöhung des Bodens von Mittelägypten das berühmteste Beispiel ist. Daß im Flußgeschiebe hin und wieder edle Metalle und Steine aus der Erde herausgeschlämmt wer-

den (Goldwäschen), ist eine besondere Merkwürdigkeit. In den Mündungsgebieten der Ströme vollends, wo das Größte von Hemmung ihres Laufs eintritt, ist die Bildung von Untiefen, Inseln und Auen in fast ununterbrochenem Fortschreiten. Bei größerer Kraft der Strömung bilden sich Barren im Meer der Mündung gegenüber als wasserbedeckte Sandbänke oder hervorragende Dünen; bei geringerer Strömung bilden sich in der Mündung selbst Inseln, an denen der Strom sich spaltet, und durch das Hinauswachsen dieser Bildung ins Meer sind geräumige Deltaländer entstanden; auch tritt manchmal der Fall ein, daß der Schlamm zu beiden Seiten der Mündung sich absetzt, wodurch sich die Flußufer ins Meer hinein verlängern, meilenlange schmale Erdzungen bildend, gleichsam „wagerechte Riesenstalaktiten“ (Mississippi). Welche Massen von Schlamm die Ströme ins Meer hinausschleppen, zeigt sich z. B. an der Farbe des gelben Meers, die vom Schlammgeschiebe des Hoangho herrührt.

Aber von den unter unseren Augen ansteigenden Thalsohlen und meerwärts wachsenden Deltaländern dürfen wir noch weiter gehen und ganze Mündungstiefländer als allmälige Erzeugnisse des Wassers betrachten, wobei Ströme und Meer zusammengewirkt haben. Desgleichen mahnen uns an lange vorzeitliche Arbeit der fließenden Gewässer die in unbekannte Tiefe reichenden Schutt- und Geröllmassen in Gebirgsländern, in welche dann der jetzige Fluß wieder ein tiefes Bett mit steilen Wänden gegraben hat, sowie die mächtigen und weitverbreiteten Ablagerungen von Gerölle nebst Sand und Lehm in den Ebenen am Fuß größerer Gebirge (z. B. der Alpen). Freilich kann man in solchen Ebenen hin und wieder zweifelhaft sein, ob man Strombildungen oder Gebilde ehemaliger Meere vor sich hat, und manchmal, wie in dem Pariser Becken, greifen in der That Süßwasser- und Meergebilde verwickelt in einander ein. Da wir endlich häufig in entschiedenen Schuttabsätzen von Strömen mächtige Felsblöcke finden, so hat man an fließende Wasser gedacht auch bei

der Erscheinung der erratischen Blöcke, auf welche wir nun noch etwas näher eingehen.

So (oder Findlinge) heißen größere Felstrümmer, welche in so großer Entfernung vom Stammgebirge getroffen werden, daß sie nicht unmittelbar durch den Fall dahin gelangt sein können. Dergleichen bis zu Hausgröße findet man in den nördlichen Alpenthälern, wo sie zur Ebene auslaufen, sowie in der Ebene selbst, und ebenso im Süden der Alpen, etwas beschränkter am Fuß der Pyrenäen; im großartigsten Maßstab aber im nördlichen Europa, wo über Finnland, Schweden, Dänemark, Nordrußland, Polen, Norddeutschland bis zu den Niederlanden und zum östlichen England Blöcke zerstreut sind, die vom skandinavischen Gebirg stammen, eine Erscheinung, die nur noch von Nordamerika überboten wird. Ohne Zweifel hat man an verschiedene Hergänge zu denken, wodurch diese Blöcke an ihre jetzigen Lagerstätten gelangt sind, worauf auch ihre verschiedene Beschaffenheit deutet, in der man sie namentlich in der Schweiz antrifft, entweder mit scharfen Kanten freiliegend oder in ungeschichtetem Kies und Lehm, oder mit abgerundeten Kanten in geschichtetem Kies, oder endlich theils eckig, theils gerundet in ältere Gebilde gleichsam eingewickelt. Dieß deutet auf verschiedene Epochen, auf mehr oder minder unmittelbare Uebersiedlung. Auch ist es ein bedeutsamer Unterschied, ob die Blöcke einem Hochgebirg entlang in seinen Austrittsthälern, in den ihm vorgelagerten Ebenen und Hügelländern sich finden, wie bei den Alpen, oder weithin durch mächtige Tiefländer zerstreut, die jetzt selbst durch Meere von einander getrennt sind, wie in Nordeuropa, wo die südliche Gränze der Blöcke Kostroma an der Wolga, die Gegend zwischen Twer und Moskau, Witepsk, Breslau, Leipzig, Braunschweig, Arnheim berührt, wobei noch zu bemerken, daß sie in Schweden mit dem sie begleitenden Kies niedrige Hügelzüge (Oesars) bilden, in Polen und Norddeutschland gruppenweise häufiger auf Anhöhen als in Niederungen liegen und am Abhang der ihr Gebiet begränzenden Gebirge bis zu 800 Fuß über dem Meer vorkommen.

Dieß ist die merkwürdige geologische Erscheinung, welche so verschiedene Erklärungsversuche hervorgerufen hat und in der That geeignet ist, vielleicht noch einen eigenthümlichen Aufschluß über frühere Zustände der Erdoberfläche zu geben. Man hat sie für Strandbildungen erklärt und nach dieser Theorie wären die Räume zwischen den Stammorten und den jetzigen Lagerstätten mit Wasser bedeckt gewesen, über welches die Blöcke auf Treibeis fortgeschafft worden wären, wofür ein Anhaltspunkt die schwimmenden Eismassen (Eisinseln), die jetzt noch aus den Polarmeeren kommen, Gegenstände aller Art mit sich führend. Allein einerseits ist schon das Treibeis ein sehr gesuchter Hebel, zumal bei den Alpen, andererseits fehlen alle sonstigen Strandbildungen an dem hier vorausgesetzten „älteren Strande“ gänzlich. In weit höherem Grad paßt der Karakter der Strombildungen zu vielen von den Schuttablagerungen, in denen solche Blöcke vorkommen, und man müßte dann an mächtige Wasserergüsse denken, verschieden von unseren jetzigen Strömen, oder vielmehr an „zurückgehaltene Wassermassen, deren Herabsturz und Durchbruch bei Hebung der Gebirgsketten die Blöcke auf weite Strecken fortgeführt hat“. Dieß paßt auch allerdings sehr gut bei den alpinischen Blöcken, die reißenden Gebirgswasser, welche vor der jetzigen Sonderung der Wassersysteme bei Hebung solcher Gebirge herabstürzten und alles mit sich fortrissen, genügen hier vollkommen. Allein die Blöcke in den nordischen Flachländern? Müßte man nicht z. B. in Nordeuropa, wo die Ostsee die Blöcke von ihrem Stammgebirge trennt, an eine andere Vertheilung von Meer und Land denken? Man hat hier jedenfalls eher überschwemmende Meeresfluthen anzunehmen, als Ströme, was im Grunde zur vorigen Theorie zurückführt, wobei die bestimmte Südgränze der Erscheinung die damalige Gränze des nordischen Meers wäre. Kein Wunder, daß man sich noch nach anderen geologischen Hergängen umgesehen hat, von denen die Blöcke herrühren könnten, und die von den Gletscherbildungen hergeholte Theorie hat im laufenden Jahrzehnt soviel Aufsehen erregt, daß wir schon deß-

halb die von dem gefrorenen meteorischen Wasser herrührenden Sedimentbildungen nicht übergehen dürfen.

Der Schnee bildet an und für sich bleibende Lager in der kalten Zone und in der Schneeregion der Gebirge; der Schnee aus verschiedenen Jahrgängen, überhaupt die einzelnen mit Unterbrechung gefallenen Massen zeigen deutliche Schichtung. Daß die Firnmassen durch den stets neu hinzukommenden Schnee nicht ins Unbestimmte wachsen, setzt einen ausgleichenden fortwährenden Abgang voraus. Dieser kann aber nicht durch Abschmelzen des Schnees an der Oberfläche erfolgen, wie unterhalb der Schneegränze, sondern die unteren Schichten müssen sich zerstören durch die in die Tiefe dringenden Schmelzwasser in Verbindung mit dem Druck, der auf denselben lastet, daher die Dicke der Schneeschichten mit der Tiefe abnimmt, und die unterste Schicht sich in hartes weißes Eis verwandelt. Vermöge der Unebenheit ihrer Grundlage finden sich in den Schneefeldern oft breite und tiefe Spalten mit fast senkrechten Wänden. Viel Schnee geht auch durch die Lawinen ab, Staublawinen, wenn die Masse stürzt und dabei zerstäubt, Grundlawinen, wenn sie herabrutscht. Von beiden werden oft Bäume und Felstrümmer mit fortgerissen, wodurch wahre Schutthalden am Grund des sogenannten „Lawizugs, gleichsam eines Betts der Lawinen", entstehen, das sich an Orten bildet, wo die Erscheinung besonders häufig ist. Ueberhaupt arbeiten sich bedeutende Schneemassen durch die eigene Schwere abwärts und vermehren die unterhalb der Schneegränze gefallenen Massen, um hier Gletscherbildungen zu veranlassen.

Wo nämlich überhaupt Schneemassen diesseits der Schneegränze dem jährlichen Wechsel des Abschmelzens und Zufrierens ausgesetzt sind, da bilden sich durch diesen Prozeß bleibende Eismassen von körnigem Gefüge und von veränderlichem Umfang; dieß sind die Gletscher, die sich oft mehrere Tausend Fuß unter die Schneelinie herabziehen bis in Tiefen, wo die Jahreswärme der jährlich sich bildenden Schnee- und Eismassen gänzlich Meister wird. Ihr Umfang ist bald nach Quadratruthen, bald nach Quadratmeilen zu bemessen; bald

hängen sie von Firn bedeckt an höheren Gebirgswänden, die Firngletscher (ja die untersten Schichten der Firnlager nähern sich selbst einer Art von Gletschern), bald liegen sie in Thalgründen, in welche sich diese Thalgletscher aus den höheren Gegenden hinabgezogen haben, manchmal bilden sie Joche, indem sich diese Jochgletscher über Gebirgsjoche hin und auf beiden Seiten herabziehen. Durch ihren jährlichen Schmelzprozeß spielen sie oft die Rolle von Quellen, manchmal bricht der Gletscherbach aus einer Art von Eisgewölbe hervor. Die Gletschermasse bewegt sich langsam den tiefsten Stellen an ihrer unteren Gränze zu, ohne Zweifel in Folge der Schwere; während er am unteren Ende im Abschmelzen begriffen ist, rückt die obere Masse nach, daher bleibt der untere Rand trotz des Schmelzens an seiner Stelle oder rückt gar vor, und es hängt von der Gesammtwärme des Jahrgangs ab, ob der Gletscher im Ganzen zunimmt oder abnimmt, je nachdem das Vorrücken oder das Abschmelzen die Oberhand gewinnt. Der Betrag des jährlichen Vorrückens kann Hunderte von Fuß betragen; mit der Masse zugleich werden Gebirgsschutt und Felsblöcke, die im Hintergrund auf den Gletscher fallen, vorwärts geschoben. Es entstehen so Schuttwälle, Gandecken genannt, welche den Gletscher seinem Thal entlang begleiten; sie werden durch gesteigertes Abschmelzen außerhalb des Eises abgesetzt und bei neuem Anwachsen desselben wieder vorgeschoben. Man begreift, daß auf diese Weise in einer Folge von nassen und kalten Jahrgängen die Endgandecken sehr weit vorwärts gelangen und sofort in einer Folge trockener und heißer Jahrgänge, wo der Gletscher in demselben Maß sich zurückzieht, von diesem durch bedeutende Zwischenräume getrennt werden können; der Spielraum, innerhalb dessen der Vorderrand sich bewegt, beträgt manchmal mehrere Tausend Fuß. Dieß sind also Ablagerungen durch Gletscher, wir können auch von Gletschererosion sprechen, denn die Gletscher wirken mit Verschüttungen, Abschleifungen, Ausfurchungen auf ähnliche Art, nur langsamer, wie die Regenwasser, wovon nachher noch die Rede sein wird.

Man findet aber alte Sandecken in noch weit größeren Entfernungen von den jetzigen Gletschern; manche Hügelzüge, auf denen jetzt Dörfer stehen, in meilenweitem Abstand vom Abstammungsort ihrer Felstrümmer, tragen entschieden den Karakter der Sandecken. Zur Zeit von deren Entstehung müssen sich also die Gletscher beträchtlich weiter erstreckt haben. Man hat gewagt, von hier aus noch weiter zu gehen, und die erratischen Blöcke der Schweiz aus der Gletscherbewegung zu erklären, die sich damals über die ganze niedere Schweiz bis weit am Jura hinauf erstreckt haben müßte. Wenn man aber vollends die nordeuropäischen und nordamerikanischen Blöcke auf dasselbe Bildungsprinzip zurückführen will, so müßten die Gletscher der nordischen Gebirge und das Polareis über einen so großen Theil der nördlichen Halbkugel sich ausgedehnt haben, daß der Erde damals eine Art von Eishülle zugekommen wäre. Dieß ist die berühmte Eiszeit der Erde, welche neuere Forscher, durch die Gletscherbildungen geleitet, zur Erklärung der Findlinge annehmen zu müssen glaubten. Es ist ein anziehender Gedanke, daß auch der Frost eine Rolle in der Geschichte der Erde gespielt haben, und daß Zeiten erhöhter Temperatur mit solchen von erniedrigter gewechselt haben sollen, allein es ist sehr die Frage, ob eine solche Eiszeit mit der Ansicht in Einklang stehen kann, die wir uns von dem Erkalten der Erde im vorigen Abschnitt zu bilden hatten?!

Die organische Welt hat zu den Ablagerungen der Erdrinde nicht nur gewaltige Vorräthe an Stoff geliefert, sondern auch den dabei thätigen Ursachen, wie Wasser, Schnee, Wind, lebendige Arbeiter zugesellt. Auch diese Arten erdbildender Thätigkeit gehen stets noch vor sich, und die erstere würde bei erschöpfendem Eingehen tief in die Landwirthschaft hineinführen. Der fruchtbare Boden, die Dammerde oder Ackererde, bildet sich fortwährend aus Mengung von Pflanzen- und Thierresten mit dem aufgelockerten Boden, indem aus der Vermoderung derselben der Humus entsteht, der dunkelfarbige, Feuchtigkeit in hohem Grad anschluckende Stoff, dessen Menge die Fruchtbarkeit des Bodens bedingt, während die

Menge des sich bildenden Humus wieder von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt, nach dessen vorwaltenden mineralischen Bestandtheilen Mergelboden, Kalkboden, Thonboden, Lehmboden, Sandboden, Haideboden unterschieden wird. In dem Humus ist eine eigene Säure enthalten, die aber in dem fruchtbaren Boden an Erden gebunden ist; mächtige Lager der humusreichsten Dammerde bilden den „eigentlichen Humusboden“, die wilde Grundlage überüppigen Pflanzenwuchses (z. B. der amerikanischen Urwälder). Uebermaß der Humussäure aber scheint die Fruchtbarkeit wieder zu beschränken, und liefert den oft große Strecken einnehmenden sauren Humusboden mit seinen Gräsern, Haidekräutern und Moosen, der den Uebergang zum Torf bildet. Dieser entsteht in flachen Gegenden, welche alljährlich längere Zeit unter Wasser stehen, Sümpfe, Moräste und Moore (Moose) bildend, durch Abfaulung der Sumpfpflanzen von unten, während oben der Pflanzenwuchs fortdauert. Der so sich bildende kohlige Stoff, der Torf, nimmt alsdann zwischen der Rasendecke und dem Untergrund eine besondere Lage ein, die viel Wasser enthält und in beständiger Zunahme begriffen ist, dergestalt daß in einem Vierteljahrhundert eine Torflage von mehreren Hundert Fuß Dicke entstehen kann. Viele Torfmoore stehen an der Stelle früherer Wälder, die bei zunehmender Versumpfung des Bodens durch Windschlag gefällt worden sein mögen und die in den Torfmassen vorkommenden halbverkohlten Holzstämme geliefert haben. Merkwürdig ist die Verbindung von Eisenerzbildung mit der Torfbildung; die sogenannten Sumpferze rühren daher, daß die bei der Vermoderung unter Wasser sich entwickelnden Pflanzensäuren mit aufgelösten eisenhaltigen Stoffen unlösliche Niederschläge bilden.

Die Torfbildungen, welche unter unseren Augen vor sich gehen, weisen uns wieder zurück auf die Kohlenbildungen der Vorwelt, welche mächtige Lager in der Erdrinde in größeren und geringeren Tiefen einnehmen, und legen uns nahe, daß es nicht sowohl eigentliche Verkohlungsprozesse durch Wärme ohne Luftzutritt (nach Art unserer Meiler), vielmehr Vermo-

derungsprozesse unter Wasser sind, denen die Steinkohlenlager ihren Ursprung verdanken. Wenn auch bei den älteren Kohlenbildungen, wie überhaupt bei den älteren neptunischen Bildungen, die höhere Temperatur von Einfluß gewesen ist, so darf man sich doch sehr schwerlich die Sache so vorstellen, als ob „ein mit seinem Pflanzenwuchs versunkener Landstrich, bedeckt von ausgebrochenen feuerflüssigen Massen, eine Art von riesenhaftem Meiler gebildet hätte.“ In der That kann man vom Torf aus das Fortschreiten der Verkohlung in einer fast stetigen Stufenreihe verfolgen, in welcher die Gebilde zugleich mineralischer oder steinartiger werden (gleichsam eine mit der Verkohlung fortschreitende Versteinerung). Zunächst schließt sich die Braunkohle an vom Fossilholz (Lignit) bis zur erdigen Braunkohle und Pechkohle; es folgt alsdann die Schwarzkohle oder eigentliche Steinkohle (ebenfalls mit mehreren Arten oder Stufen), deren gewaltige Lager schon zu den ältesten Flötzbildungen gehören und bezeichnender Weise gleich dem Torf mit Erzbildung in Verbindung stehen; den höchsten Grad der Verkohlung aber stellt der Anthrazit (Kohlenstein, Glanzkohle mit Hinneigung zum Metallglanz) dar, welcher als fast reine Kohle ohne Entwicklung bituminöser Stoffe geruchlos brennt und keine Spur des pflanzlichen Ursprungs mehr zeigt. Bei diesem könnte vielleicht an das unterirdische Feuer in der Art gedacht werden, daß er ein Rückstand der Destillation von Steinkohlen wäre, wobei die bituminösen Bestandtheile davon gehen, und wir erinnern hier an die bereits erwähnte Beziehung, in welche man die unterirdischen Kohlenlager zu plutonischen Erscheinungen, zu Entwicklung kohlenhaltiger Gase, Bildung von Erdöl und Erdpech gebracht hat.

Indem wir nun zu thierischen Sedimentbildungen übergehen, so wollen wir kaum der Ablagerung von thierischem Koth u. dgl. (z. B. der Guanomassen von 50 Fuß Dicke) und noch weniger menschlicher Bauten gedenken, aber was dazwischen fällt, verdient unsere vollste Aufmerksamkeit, die Felsbildungen nämlich, wo die Thierwelt als Baumeister auftritt.

Hier haben wir zuvörderst die **Korallenbildungen** zu nennen, welche von Seethieren herrühren, die feste Kalkmassen absondern, mit pflanzenartigem Wachsthum, daher sie unter dem Namen der **Pflanzenthiere** (Zoophyten) zusammengefaßt werden. Sie tragen durch ihre untermeerischen Kalkbauten zur Erhöhung des Seegrundes und Strandes bedeutend bei, ganze Riffe und Klippen, ja Inseln und Inselreihen, häufig in ringförmigen Gestalten (Laguneninseln) bildend. Wenn aber die älteren Korallenbildungen oft aus tiefem Meeresgrund aufsteigen, so wird es schwer, dieselben aus wenn auch noch so langen Zeiträumen fortgesetzten Korallenbaus zu erklären, wenn nicht bereits untermeerische Höhen demselben zur Grundlage gedient haben. Wenn der **Korallenfels** manchmal auch im Inneren des Festlands vorkommt, so deutet dieß mit so vielen anderen Erscheinungen auf vorzeitliche Meeresstände, verschieden von den unsrigen.

Allein alles dieß scheint noch gering zu sein gegen die Felsbildungen, welche nach den neueren Entdeckungen der **mikroscopischen Thierwelt** zuzuschreiben sind, den sogenannten **Polythalamien**, welche sich zunächst an die Zoophyten anschließen, und noch mehr den Infusorien, deren zahllose Menge und allgemeine Verbreitung in stehenden Gewässern, in Schlamm und Morast alle Gränzen übersteigt. Nach ihrem Absterben bilden die aus Kalk oder Kieselerde bestehenden Schaalen und Panzer solcher Thiere einen erdigen Bodensatz, und wenn man ihre unglaubliche Vermehrung (zu Millionen in wenigen Tagen) bedenkt, so wird man begreiflich finden, wie sie durch Jahrhunderte lang fortgesetztes Weben auf dem Grund der die Erdfläche bedeckenden Gewässer die Bildung ganzer Gebirgsschichten veranlassen konnten, „zu denen das einzelne Thierchen sich verhält, wie das Sandkorn zum Sandsteingebirge, das aus einer zahllosen Menge von Körnern zusammengeknetet ist.“ In der That löst sich im Vergrößerungsglas die Hauptmasse der weicheren wie der härteren **Kreide** in Polythalamien auf, so daß „ein Kreidestrich als eine Art von Mosaik einer unsichtbaren Thierwelt erscheint“; ebenso besteht der

im Kreidegebirg vorkommende Feuerstein, sowie die in jüngeren Gebilden enthaltenen Lager von Bergmehl, Tripel, Kieselguhr u. s. w. aus nichts als Kieselinfusorien. Man wird dadurch geneigt, auch bei älteren Kalk- und Kieselgebilden diesen Thierklassen eine wichtige Rolle zuzuschreiben; man kann aber auch die Bedeutung dieser organischen Gesteinsbildung übertreiben, denn wenn auch der größte Theil des Kalksteins auf der Erde ein Erzeugniß von Korallenthieren und Polythalamien sein, und wenn auch in ebenso starkem Verhältniß Kieselinfusorien zur Ablagerung von Kieselerde beigetragen haben sollten, so war doch Kalk und Kiesel schon vorhanden, und es kommt nur die Umgestaltung oder Verarbeitung dieses Stoffs der organischen Thätigkeit zu. Endlich darf nicht übersehen werden, daß bei allen diesen Bildungen wiederum das Wasser im Spiel ist; der nunmehr ermessene Kreis der Ablagerungen fällt daher größtentheils unter den Begriff der neptunischen Wirksamkeit, aber die einen erfolgen durch das Wasser, die anderen im Wasser mittelst chemischer und organischer Kräfte.

Wir konnten die mannigfaltigen Umstände der ablagernden Wirksamkeit des Wassers nicht schildern, ohne zugleich auf seine wegschaffende oder ausrodende Thätigkeit unser Augenmerk zu richten, da bei einer Menge von Erscheinungen An- und Aufschwemmung mit Ver- und Wegschwemmung eng verbunden ist, sowohl bei der Wirksamkeit des bewegten Meers, als bei derjenigen des fließenden Wassers. Indem wir schließlich auf den Begriff der Erosion im weitesten Sinn zurückkommen, müssen wir auch noch der zerstörenden Einflüsse von Luft und Schwere gedenken. Der Wind entblößt Berggipfel und Bergrücken von den aufgelockerten Bodentheilchen und von Schnee, daher die nackten Felshörner, ja ganze Hochplatten werden von ihm gleichsam rein gefegt (so der Karst von der Bora, der südrussische Landrücken). Die heftigeren Stürme, voran die Orkane in den Tropen, brechen Felsen und entwurzeln Bäume; indessen stehen diesen vereinzelten Gewaltthaten die anhaltenden und gleichförmigen Wir-

kungen herrschender Winde, die sich zugleich meistens über große Räume erstrecken, im Erfolg voràn, in welcher Beziehung wir bereits der Wirksamkeit der Winde bei der Dünenbildung und beim Vorschreiten der Sandwüsten gedacht haben.

Ein allgemeiner Einfluß der Atmosphäre ist unter dem Namen der **Verwitterung** bekannt. Die Luft an und für sich, vollends aber in Verbindung mit den Niederschlägen, dem Schneeschmelzen, dem Wechsel von Wärme und Kälte, von Nässe und Trockenheit, greift die verschiedenen Felsarten, wo sie blosliegen, mehr oder weniger an, theils mittelst chemischer Einwirkungen, die sich in Farbenänderungen an der Außenschicht, in Ausblühungen u. s. w. kund geben, theils mehr mechanisch, wohin Sprengung durch das Gefrieren der eingedrungenen Feuchtigkeit, Abschleifung der Kanten und Ecken, Erweiterung der Spalten und Klüfte gehört. Die Ergießung des **meteorischen Wassers** hat die gefurchten Kalkflächen (Karren, Schratten), die polirten Felsen, die Rundhöcker und Felssäulen hervorgebracht; es entstehen dadurch in Gebirgen und Ebenen besondere Regenrinnen und Regenschluchten. Gesteine, welche sonst tiefer unter der Oberfläche zu liegen pflegen, wie Gangmassen, sind durch das atmosphärische Wasser allmälig blosgespült worden. Die Schutthalden der Gebirge erneuern sich stets durch fortgesetzte Ablösung von Trümmern in Folge der verschiedenen atmosphärischen Einflüsse. Blicken wir weiter zurück, so sind ohne Zweifel die Umrisse der Gebirgskämme vorherrschend das Werk der **atmosphärischen Erosion**, ja sie hat gewiß auch auf die Thalbildung vielen Einfluß gehabt, indem die Regenwasser den älteren Thalboden in der Tiefe da zerstört haben, wo die höheren Thalwände aus Widerstand leistenden Felsarten bestehen. Es ist also ein allgemeiner **ununterbrochener Zerstörungsprozeß**, der auf atmosphärischen Einflüssen, Wind und Wetter, vor allem aber auf dem meteorischen Wasser beruht.

Das in den Boden eingedrungene Wasser setzt die ausrodende Thätigkeit im Inneren fort und der ausgedehnteste Spielraum der Erosion ist den Gewässern an der Oberfläche der

Erde selbst eröffnet, wie wir bereits gesehen haben. Die Unterhöhlung des Bodens durch unterirdische Erosion giebt Anlaß zu Zerstörungen, welche dann vollends durch die Schwere verursacht werden, sofern die Decke der Höhlungen ihre Last nicht mehr zu tragen vermag. So entstehen Erdfälle und Einstürze und durch sie trichter- und kesselartige Vertiefungen, die sich auch zu größeren Becken erweitern. Von diesen Hergängen, wo neptunische Ausrodung die Ursache ist, sind die vulkanischen Einstürze und Bildungen neuer Krater zu unterscheiden, wo die Höhlungen im Inneren durch die ausgeworfenen Massen entstanden sind. Auch auf dem Grund des Meers scheinen Einstürze und Einsenkungen vorzukommen, man hat viele Angaben von verschwundenen Inseln; manche sind unter den Augen der Beobachter entstanden und nach einiger Zeit wieder im Meer versunken. Im letzteren Fall ist die Erscheinung ohne Zweifel vulkanisch; aber gleichwie Küstenstrecken versinken, nachdem sie vom Meer gehörig unterhölt worden sind, so mag es auch ganzen Inseln im freien Ocean ergehen. Wenn aber schon viele der Einsenkungen, welche wir beobachten, mit den plutonischen Wirkungen zusammenhängen und gewissermaßen deren Gegenstück bilden, so fällt unter diesen Gesichtspunkt wohl fast Alles, was wir als ältere Einsenkungen des Bodens in größerem Maßstab zu betrachten haben, und wir gelangen hiemit zu den unterirdischen Gewalten zurück und zu dem letzten Kreis von Erscheinungen, die wir in diesem Abschnitt zu betrachten haben, zu der plutonischen Hebung und Senkung.

Denn wir können nicht umhin, Hebung und Senkung als so zusammengehörig zu betrachten, wie Wellenberg und Wellenthal, dergestalt daß hervorgehobene Gebirgs- und Hochlandsmassen eingesunkenen Becken entsprechen, welche jetzt meistens von dem Wasser der Erdoberfläche eingenommen sind. Während an vielen Stellen der Erdfläche ausgedehnte Massen von unten aufgetrieben worden sind, mußten Höhlungen im Inneren entstehen, welche zu ebenso großartigen Einsenkungen an anderen Stellen Anlaß gaben. Obgleich wir in Ablagerun-

gen und Ausrodungen Anlässe zur Bildung von Unebenheiten gewahren mußten, so sind dieselben doch nur vereinzelt und von kleinerem Maßstab, und die umfassende Ursache aller bedeutenden Unebenheiten der Erdfläche ist offenbar die Hebung von unten. Dabei konnten zwei Fälle eintreten, entweder hat die gehobene Masse die vorhandene Decke gesprengt, das innere Gestein geht zu Tage und die Flötzschichten sind zerrissen, aufgerichtet oder gar überworfen; oder es hat eine einfache Hebung stattgefunden, wobei die vorher tiefer liegenden Schichten in ihrer Folge mit einander gehoben und höchstens in ihrer wagrechten Lagerung gestört worden sind. Die Ursache des Auftriebs mag meistens dieselbe gewesen sein, welche die vulkanischen Ausbrüche stets noch veranlaßt, die gewaltsame Ausdehnung unterirdischer Gase und Dämpfe; indessen kann auch die von innen aus sich bewerkstelligende Gesteinumwandlung wie einen allmäligen Rückzug oder ein Zusammenschrumpfen, so ein allmäliges Anschwellen der Massen zur Folge haben, wobei die Decke bald bersten, bald sich wölben oder falten wird. Je nachdem sich endlich der plutonische Auftrieb auf einen Punkt, eine Spalte oder eine ausgedehntere Fläche bezogen hat, ist eine punktweise (centrale), eine Längen- oder Flächenhebung erfolgt, mit dem Ergebniß einer Bergkuppe, Bergkette oder Hochplatte, und in ausgedehnterem Maßstab entsprechen diesen Grundformen des gehobenen Landes centrale Gebirgssysteme, Gebirgszonen und Tafelländer. Die entsprechenden Vertiefungen, Thäler, Kesselländer können dabei auf doppelte Art entstanden sein, soweit sie nicht von der Thätigkeit des Wassers herrühren, nämlich entweder durch die Hebung der Umgebung selbst oder durch Einsenkung der vertieften Stellen, Hebungsthäler und Einsturzthäler.

Von langsamer Hebung und Senkung bieten mehrere Küstenländer Beispiele dar, Hergänge, welche seit Jahrhunderten sich fortsetzen und erst in langen Zeiträumen merklich werden. Während eine langsame Senkung im nördlichen Theil des adriatischen Meers, an der Küste von Grönland und sonst wahrgenommen wird, bemerkt man an anderen Küsten ein

allmäliges Ansteigen des Bodens, das sich in zunehmender Erhebung der Uferlinien, Verseichtung der Buchten, Vergrößerung des Strandes kund giebt, so an der nordschwedischen Küste, einigen dänischen Inseln, in Ostindien und Neufundland. Bemerkenswerth sind dabei die nachbarlichen Gegensätze, das ansteigende Neufundland und das sinkende Grönland, das ansteigende Schweden und Finnland (am meisten im Grund des bothnischen Meerbusens, der Quark) und die einsinkende Südspitze der skandinavischen Halbinsel. Da nun beide Erscheinungen nur an der beziehungsweisen Veränderung des Meeresspiegels wahrgenommen werden, so könnte man darüber im Zweifel sein, ob in solchen Erhebungen des Landes nicht vielmehr ein Rückzug des Meeres, etwa in Folge einer Erniedrigung seines Grundes, und in den Erniedrigungen des Landes ein Ansteigen des Meeres, nämlich in Folge einer Erhöhung seines Grundes zu erblicken ist, so daß also dem Wesen nach dieselben geologischen Hergänge von Hebung und Senkung des Bodens zu Grunde liegen würden. Was uns aber bestimmen kann, die beziehungsweisen Veränderungen des Seespiegels und der Küsten eher auf Hebung und Senkung der letzteren, als auf Senkung und Hebung des Meeresgrunds zurückzuführen, das ist die Erwägung, daß eine wirkliche Veränderung des Seespiegels wegen des Zusammenhangs der Meere an allen Küsten zugleich wahrgenommen werden müßte; man kann aber wiederum bemerken, daß die derartigen Erscheinungen nach Betrag und Oertlichkeit gering sind und sich nachbarlich ausgleichen können, so daß der Seespiegel trotz solcher örtlicher Hebungen und Senkungen des Grundes im Allgemeinen doch unverändert sich erhielte.

Worin solche Schwankungen der Erdrinde, d. h. hier langsames Ansteigen, dort langsames Einsinken ihren Grund haben, darauf dürfte die natürlichste Antwort sein, daß es Veränderungen im Raumgehalt sind, welche von Temperaturwechseln und chemischen Umwandlungen im Boden herrühren, nämlich bald Anschwellungen und Erweiterungen, die als Hebungen, bald Rückzüge und Einschrumpfungen, die als Senkungen an

der Außenfläche erscheinen. Solche physische oder chemische Gesteinsumwandlungen begreift man unter dem Namen des (plutonischen) Metamorphismus, sofern sie durch Wirkungen aus dem Inneren bewerkstelligt sein müssen. Wir werden indessen erst im nächsten Abschnitt weiter davon handeln, wo wir von den Erzeugnissen der mannigfaltigen Bildungshergänge oder von der jetzigen Zusammensetzung der Erdrinde selbst sprechen; hier genügt die Andeutung solcher Umwandlungsprozesse, die wir mehr oder weniger auf Temperaturverhältnisse und elektrisch-chemische Wirkungen zurückzuführen vermögen, und die nicht nur die Natur der Gesteine bestimmt, sondern auch auf die Gestaltung der Oberfläche umfassenden Einfluß gehabt haben.

Ohne Zweifel haben solche langsame Hebungen und Senkungen eine Hauptrolle gespielt bei der allmäligen Trockenlegung des Landes, bei der Bildung der Landfesten und der jetzigen Vertheilung von Land und Meer. Und wenn wir die andere Hauptrolle barschen Ausbrüchen und Einstürzen zuerkennen, von welchen sogleich weiter die Rede sein wird, so stellen wir uns überhaupt in der Frage nach der Ursache der Landbildung entschieden auf die Seite der plutonischen Theorie und weisen die neptunische Lehre zurück, welche, nachdem sie ihrerseits die älteren vulkanischen Ansichten eine Zeitlang verdrängt hatte, heutzutage der umfassenderen plutonischen Lehre wieder gründlich hat weichen müssen. Wie hätte sich auch die Ansicht, daß die Erhebungen des Landes lediglich durch Absetzung aus dem Wasser und allmäligen Rückzug des Meeres entstanden seien, gegen die Macht der Einwürfe halten können? gegen Fragen wie diese: woher die dem Gesetz der wagrechten Lagerung widerstreitende Neigung und Krümmung der neptunischen Schichten, das Zutagegehen der Urgebirge und überhaupt solcher Felsarten, welche sonst unten zu liegen pflegen? Und wenn der „Neptunismus" auf die Frage, wohin das die ganze Erde bedeckende Wasser gekommen sein sollte, durch unterirdische Schleusen sich hilft, die er demselben eröffnet, so setzt er doch die Unebenheiten der Erdoberfläche,

die Gebirge und Becken, welche erklärt werden sollen, eigentlich schon voraus. Wir fügen endlich mit Humboldt zu jenen Haupthebeln der Landbildung neben der Aufblähung und Einschrumpfung durch Temperaturverhältnisse und Metamorphismus auch das ungleiche Erkalten der Erdrinde und des Erdkerns, welches „Faltung der starren Oberfläche“ bewirkt, wozu vielleicht noch „örtliche Verschiedenheiten der Schwere und in Folge davon örtliche Veränderungen in der Krümmung der Wasserflächen“ kommen.

Die jähen Hebungen und Senkungen schreiben wir gewaltsamen Austriebkräften des Erdinneren zu und setzen sie mit den Aufwürfen und Einstürzen in eine Klasse, welche wir noch immer im Gefolge der Erdbeben und der vulkanischen Ausbrüche wahrnehmen. Freilich streitet man selbst schon bei Erscheinungen, welche in die geschichtlichen Zeiten fallen, über den näheren Hergang, ob z. B. der 1538 entstandene sogenannte „neue Berg“ (Monte Nuovo bei Puzzuoli, eigentlich aber nur ein neuer Ausbruchkegel) durch Aufschüttung oder Hebung entstanden sei; übrigens ist gewiß, daß seit Erbauung des dortigen Serapistempels ein beträchtlicher Theil der Küste erst 28 Fuß gesunken und dann wieder um 15 Fuß sich gehoben hat (aber nur zum Theil, es befinden sich noch jetzt eine Menge Bauwerke und Ruinen 15 bis 20 Fuß unter dem Meeresspiegel), und man pflegt diese Hebung dem Erdboden zuzuschreiben, von welchem im Jahr 1538 die Bildung jenes neuen Bergs begleitet war. Die größte vulkanische Hebung, von der die Geschichte berichtet, ist die, welche 1759 in der Gegend von Mexiko stattgefunden und eine wirklich neue Esse eröffnet hat, wo die Oberfläche des aufgetriebenen Landes wie ein wogendes Meer sich bewegt haben soll, Tausende von 5 bis 10 Fuß hohen Dampf ausstoßenden Kegeln (Hornitos), sechs Krater in einer Linie und mitten zwischen ihnen als Hauptvulkan den über 1000 Fuß hohen Berg Jorullo bildend.

Noch weit mehr ist man im Stich gelassen bei älteren Hergängen jäher Hebung, wie überhaupt bei den meisten geologischen Prozessen aus der Vorzeit; sowie es sich nämlich um

die Erklärung im Einzelnen handelt, so schwankt man meistens zwischen mehrerlei Möglichkeiten. Man hat übrigens selbst gewagt, auf die Wirkungen unterirdischer Stöße und Drucke die mechanische Rechnung anzuwenden und z. B. aus einem centralen Auftrieb die Entstehung eines kreisförmigen Gewölbes aus einzelnen Kegeln zur Gestalt eines vulkanischen Bergs oder Kraters herzuleiten, sowie die Bildung eines Systems von Längen- und Querspalten aus dem Druck auf eine langgestreckte Zone, wobei sich nämlich die ganze gehobene Masse mechanisch in rechteckige Stücke zu theilen hatte, die Grundlage eines kettenförmigen Gebirgssystems. Der Kosmos darf aber hier so wenig als bei den neptunischen Bildungen zuweit in den Reichthum der Einzelheiten eingehen, noch die allgemeine Theorie in die Besonderheiten ausspinnen. Wir beschränken uns daher noch auf einige kennzeichnende Erscheinungen älterer Hebung, um das dynamische Bild der plutonischen Bildungen zu vollenden.

Zunächst schließt sich an die vulkanischen Erscheinungen die Bildung der Bergkuppen und Erhebungskrater an, theils nach der Form dieser Gebilde, theils nach dem vulkanischen Gestein, woraus sie bestehen. Es kann kein Zweifel sein, daß solche regelmäßige Gestalten, zumal die Dom- und Glockengestalten des Trachyts und Basalts keineswegs das Werk einer ausrodenden Thätigkeit sind, vielmehr von einer örtlichen centralen Hebung herrühren müssen. Die Erdrinde ist hier durch unterirdische Kraftäußerung zu ungeöffneten gewölbartigen Massen aufgetrieben worden, während da wo der Boden durchbrochen worden ist, Ringwälle oder Erhebungskrater sich gebildet haben (die einfachste und entschiedenste Form der Erhebungsthäler), die Trümmer der aufgebrochenen Erdrinde sind dann nach außen übergekippt und nach innen ist ein steiler Felsrand entstanden, der Rand des Kraters; ganze Inseln, wie Palma, sind nichts anderes als solche Bildungen. Je nachdem in den Kratern die Verbindung mit dem Erdinneren geblieben oder durch Einsturz wieder verschlossen worden ist, wird der Erhebungskrater zum Vulkan oder nicht; häufig ist erst bei einer

späteren Erneuerung der unterirdischen Kraftäußerung der Ausbruchkegel oder die vulkanische Esse aufgestiegen. Was aber hier in den Kuppen und Ringwällen mit der größten Entschiedenheit hervortritt, das läßt sich auch im Allgemeinen auf größere Bildungen übertragen, auf ähnliche Hergänge bei Entstehung von Hebungsketten und Längenspalten, von geräumigeren Hochplatten und Kesselvertiefungen.

Von jähen Einstürzen im Gefolge vulkanischer Erscheinungen haben wir schon Beispiele angeführt, Versenkung von Uferstrecken und Inseln ins Meer bei Erdbeben, Einstürze von Ausbruchskegeln bei Vulkanausbrüchen, Entstehung neuerer Spalten, Löcher und Höhlen bei beiden. Auf ähnlichen Ursprung lassen alle größeren Unterbrechungen im Zusammenhang des Erdbodens schließen, welche die Merkmale der durch Einsturz entstandenen Vertiefungen theilen; auch findet man Bildungen dieser Art besonders häufig in vulkanischen Gegenden, so die zirkus- und kraterartigen Thäler altvulkanischer Gebirge (Calderen, Maaren oder Kraterseen), welche offenbar Einsturzthäler und mit den die Ringwälle begleitenden Erhebungsthälern nahe verwandt sind; beide unterscheiden sich hinlänglich von den durch neptunische Erosion entstandenen Einschnitten und Vertiefungen. Namentlich ist auch vielen Seebecken in Gebirgen dieser Ursprung zuzuschreiben, worauf die große Tiefe solcher Alpenseen und der steile unter den Wasserspiegel sich fortsetzende Abfall des Gebirgs führt. Und gehen wir von hier aus zu einem noch großartigeren Maßstab fort, so werden wir die gewaltigen Vertiefungen der Erdrinde, deren Mehrzahl die Becken der Seen und Meere bildet, in Einsenkungen suchen, welche die Schwere in Folge von inneren Aushöhlungen veranlaßt hat. Unter denselben sind zwei binnenländische Vertiefungen hervorzuheben, welche man vorzugsweise Erdsenken (Depressionen) genannt hat, wo selbst das trockene Land unter den Meeresspiegel herabsinkt, so in der Umgebung des kaspischen Meers, dessen Spiegel 75 bis 100 Fuß unter dem schwarzen liegt, und das todte Meer, das mit seiner Umgebung sogar über 1300 Fuß unter dem Mittelmeer bleibt.

Ebensosehr wie durch die im Vorigen näher betrachteten Bodengestaltungen wird man durch die Neigungen, Krümmungen und Verschiebungen der Flötzschichten auf das Walten unterirdischer Kräfte hingewiesen, sowie durch die zwischeneingetriebenen plutonischen Massen, mögen dieselben an die Oberfläche gelangt sein und sie theilweise überlagert haben oder nicht, wie die Gangbildungen. Die bis zu senkrechten Lagen aufgerichteten, ja übergekippten Flötze, dergestalt daß in solchen Fällen oben liegt, was man sonst unten anzutreffen pflegt, die Biegungen, Zerknickungen, Falten der neptunischen Gebilde sind durchaus das Werk plutonischer Hebung; die Gangbildungen aller Art, Gesteinsgänge aus plutonischem Fels und zumal Erzgänge, in denen das dem Erdkern nähere Metall der Oberfläche sich genähert hat, erinnern so sehr an Lavaerguß, daß sie nur in flüssigem Zustand, sei es in schon vorhandene Spalten, sei es neue sich eröffnend, hervorgeschoben sein können, in Folge derselben barschen unterirdischen Kraftentwicklungen, welche Gebirge aufgeworfen und die äußeren Schichten in Unordnung gebracht haben.

Hiemit mag die Rolle der plutonischen Hebung und Senkung bei der Gestaltung der Erdoberfläche erhellen. Es versteht sich, daß bei der Bildung größerer Länderganzen, ganzer Gebirgssysteme, Tafelländer und Landfesten die verschiedenen geologischen Mächte, deren Wirksamkeit wir in diesem Abschnitt der Form nach verfolgt haben, zusammenwirken mußten, Hebung und Aufschüttung, Ausrodung und Einsturz, Aufschwemmung und Ausbruch. Selten läßt sich aber die Erklärung ins Einzelne verfolgen und ist zudem bedingt durch die geognostische Natur der durch die mannigfaltigen Hergänge entstandenen Gebilde, so daß wir erst nach dieser stofflichen Betrachtung im nächsten Abschnitt einen weiteren Blick auf die Geschichte der Erde werfen können von da an, wo wir sie im vorigen verlassen haben. Auf die äußeren Umrisse des Landes aber, deren Ursachen wir nur spärlich ergründen können, führt uns der Abschnitt vom Land im letzten Buche des Kosmos zu-

rück. Wenn wir endlich bei den geologischen Hergängen, die wir nun der Reihe nach betrachtet haben, wiederholt vom einen auf den anderen zurückkommen mußten, so erhellt von selbst, wie sehr sie mit ihren Ursachen und Wirkungen in einander verkettet sind und sich gleichsam nur als „die verschiedenen Momente des einen großen geologischen Prozesses“ herausstellen, dessen Grundzüge wir in diesem Abschnitt zu entwickeln hatten.

XII.

Die Erdrinde ein Gefüge verschiedenartiger Gebilde aus verschiedenen Epochen.

Nachdem wir nun die Hergänge kennen gelernt haben, durch welche die Erdrinde noch fortwährende Veränderungen erleidet, ohne daß jedoch dieselben Epoche in der gegenwärtigen Periode der Erdgeschichte machten, von welchen wir aber auf frühere Hauptepochen, ja auf die ganze Bildungsgeschichte derselben zurückschließen können: betrachten wir sofort die fertige Erdrinde nach ihrer jetzigen Zusammensetzung und allmäligen Bildung. Es versteht sich, daß wir die geognostischen Verhältnisse der Erdrinde nur im Großen und Allgemeinen schildern können; wir erlauben uns aber zuvor einen zweiten Streifzug in das Gebiet der Chemie, um die chemischen und mineralischen Stoffe zuvörderst in Uebersicht zu nehmen, die dem Bau der Erdrinde zu Grund liegen, nachdem wir einen ersten chemischen Ausflug hinsichtlich der chemischen Hergänge und Gesetze im neunten Abschnitt gemacht haben.

Bekanntlich sind die Chemiker bei Zerlegung aller mineralischen und organischen Stoffe auf etliche und fünfzig Stoffe (mit dem neuerlich erst entdeckten Lanthan 55) gelangt, welche bis jetzt jeder weiteren Zerlegung oder Ueberführung widerstanden haben. Es gehören dazu alle Metalle, welche auch bei weitem die Mehrzahl jener sogenannten Elemente bilden, aber auch einige andere Stoffe, welche besonders entschiedene und eigenthümliche chemische Eigenschaften und weiter nichts Gemeinsames haben, als daß man sie zunächst als nichtmetal-

lische Elemente (Metalloide) anzusprechen sich genöthigt sah, wobei man indeß gestehen muß, daß die Unterscheidung etwas Unbestimmtes und Willführliches an sich hat. Man rechnet nämlich insgemein zu den Nichtmetallen oder Metalloiden die 12 Stoffe: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff, Bor, Silicium. Allein nicht nur sind die Chemiker bei einigen Stoffen, wie Selen, Tellur, Arsen (Arsenikmetall) in der That unschlüssig, in welcher Klasse sie dieselben aufführen sollen, indem sie einerseits, zumal die beiden letzteren metallisch aussehen, andererseits mit entschieden nichtmetallischen Elementen, Schwefel und Phosphor, ähnliches bis gleiches chemisches Verhalten zeigen, sondern auch bei einigen anderen der sogenannten Metalloide könnte man die metallische Natur noch in Anspruch nehmen, nämlich vor allem bei der Grundlage der Kieselerde (Silicium, Kieselmetall) und dem damit verwandten Bor (im Borax vorkommend), da sie in der That mit einigen Stoffen, die jetzt Jedermann zu den Metallen zählt, und die man ehedem nebst den obengenannten als Halbmetalle ansprach, entschiedene chemische Aehnlichkeit haben, wie Tantal und Titan, Wolfram und Chrom. Ja selbst der Kohlenstoff nähert sich in dem Zustand des Graphit (Reißblei) dem metallischen Wesen, und ebenso das Jod, das wieder chemisch mit Brom, Chlor und Fluor die größte Aehnlichkeit zeigt, während freilich wenigstens die beiden letzteren entschieden nichtmetallisch sind (das Fluor ohnedieß ist noch gar nicht für sich dargestellt worden, da es sich sogleich mit dem Stoff jeglichen Gefäßes verbindet).

Wir können daher die gangbare Unterscheidung von Metalloiden und Metallen nicht als einschneidend und naturgemäß erkennen und ziehen zur Anbahnung einer natürlicheren Eintheilung zweierlei in Erwägung. Das eine ist der Umstand, daß die Stoffe überhaupt ohne Veränderung ihrer wesentlichen chemischen Eigenschaften mannigfaltiger Daseinsformen fähig sind, nicht nur des festen, flüssigen, gasigen Zustands, sondern auch wieder innerhalb des festen Zustands nach Um-

ständen ein sehr verschiedenartiges Aussehen annehmen können. Wir schreiben alle diese Verschiedenheiten Veränderungen im Atomenbau zu, welche freilich wie die chemischen Atome überhaupt der unmittelbaren Nachweisung sich entziehen. So bieten auch einige unter den einfachen Stoffen auffallende Beispiele dieser Art dar. Wir kennen den Schwefel nicht nur in den bekannten drei Zuständen, wie das Wasser, sondern zu seinem gewöhnlichen sprödfesten Zustand gesellt sich einmal der feste krystallische, welchen er annimmt, wenn er aus dem geschmolzenen Zustand langsam erstarrt und aus dem er bald von selbst in den ersteren übergeht, alsdann der zähe harzartige Zustand, in welchem er sich mit der Scheere schneiden läßt, und in welchen er gelangt, wenn geschmolzener Schwefel, der anfangs dünnflüssig, dann bei gesteigerter Temperatur dickflüssig ist, jählings abgekühlt wird. Am auffallendsten ist diese Proteusnatur bei dem Kohlenstoff, denn welchen Zusammenhang gewahrt der blose Anblick zwischen der gewöhnlichen Kohle, die aus pflanzlichen oder thierischen Stoffen, entweder in feinster Pulverform oder massig mit Andeutung des organischen Baues dieser Stoffe gewonnen wird, zwischen dem metallartigen Graphit (Reißblei) und zwischen dem reinsten und härtesten aller Krystalle, dem Diamant? und doch sind alle diese Körper reiner Kohlenstoff, der mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbrennt. Dazu kommt, daß unsere Mittel weder zum Schmelzen noch vollends zum Vergasen des Kohlenstoffs hinreichen, weßhalb es der Kunst auch nicht gelungen ist, Diamant aus Kohle zu machen. Ueberhaupt ist es unseren Mitteln bisher bei vielen Stoffen unmöglich geblieben, sie in die verschiedenen Zustände wirklich überzuführen, sei es daß Gase allem menschlichen Druck zum Trotz der Verflüssigung widerstehen (die beständigen Gase, wohin die Elemente Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff gehören), sei es daß feste Körper aller Schmelzung spotten, wie die Kohle und mehrere mehr oder weniger metallisch erscheinende Grundlagen von Erden und Steinen (wohin die oben aus Gelegenheit des Kiesels erwähnten Stoffe mit diesem gehören). Deßhalb ist aber allen diesen Stoffen die Fähigkeit jener Zustands-

änderungen nicht abzusprechen, und dieser theoretischen Möglichkeit kommt hin und wider wie bei der Kohle die Wirklichkeit zu Hilfe, die der gëologische Prozeß uns darbietet. Schon deßhalb also muß bei Gruppirung der chemischen Stoffe weniger auf ihre äußeren physischen Eigenschaften, vielmehr vorzugsweise auf ihre chemischen Verhältnisse gesehen werden, dazu kommt aber noch eine zweite Betrachtung, mit welcher wir die naturgemäße Eintheilung der Grundstoffe selbst verbinden, soweit sie bis jetzt sich herausgestellt hat.

Nur wenige unserer jetzigen Elemente stehen nach ihren chemischen Verhältnissen vereinzelt da, vielmehr gruppiren sie sich nach denselben auf die entschiedenste Weise, wovon auch die „Metalloide" nicht ausgenommen sind, dergestalt daß in den einzelnen Gruppen dieser Stoffe ein merkwürdiges Fortschreiten von der nicht-metallischen zur metallischen Natur stattfindet. Nur Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff sind nach ihrem chemischen Verhalten als vereinzelte Elemente anzusehen, auf der anderen Seite verbindet sie übrigens ihre Rolle in der organischen Welt, wornach sie in Verbindungen, welche dem Mineralreich fremd sind, die organischen Stoffe und näheren Bestandtheile der organischen Körper bilden. Alle übrigen reihen sich in Gruppen auf die eben bezeichnete Weise, wobei wir überdieß an das erinnern, was schon im neunten Abschnitt über die elektrochemische Reihe mit ihrer Rechten und Linken gesagt worden ist.

Auf der äußersten (säurebildenden oder säureartigen) Linken steht neben dem Sauerstoff die Chlorgruppe mit Fluor, Chlor, Brom, Jod, in dieser Folge mit dem letztgenannten Stoff an die metallische Natur streifend, mit Sauerstoff und Wasserstoff (dort positiv, hier negativ) heftige Säuren, mit Metallen Salze bildend. Weiter nach rechts folgt die Doppelgruppe des Schwefels und Phosphors, welche in der gedoppelten Reihe Schwefel, Selen, Tellur einerseits, Phosphor, Arsen, Antimon (Spießglanz) andererseits bereits stark in die metallische Natur eingreift; alle bilden mit Sauerstoff Säuren, mit dem Wasserstoff Gase, nur die ersteren dagegen saure Gase,

nicht-saure die letzteren. Noch weiter rechts folgt die Kieselgruppe, welche nach obigem bereits ganz zu den Metallen gerechnet werden kann; sie umfaßt Bor, Kiesel (Silicium), Tantal (Columbium), Titan (die man nur in unschmelzbaren Pulvern gewinnt) und die äußerst schwer schmelzbaren und angreifbaren Metalle Vanadin, Wolfram, Molybdän, Chrom; alle bilden mit Sauerstoff Säuren, alle außer Bor und Kiesel daneben auch (nichtsaure) Oxyde, aber nur die vier letzten basische Oxyde, die wieder mit den Säuren Salze geben, so daß also Tantal und Titan den Uebergang von Bor und Kiesel zur ausgesprocheneren Metallnatur der übrigen bilden. Mit dieser Reihe verlassen wir die linke Seite, zu der auch Kohlenstoff und Stickstoff gehören, wovon der Kohlenstoff etwa seine Stelle zwischen der Schwefel- und Kieselgruppe haben mag, dem Stickstoff aber schwer eine Stelle anzuweisen ist, da er einerseits einer der chemisch-trägsten Stoffe ist, andererseits Verbindungen liefert, die zu den chemisch-regsamsten Stoffen gehören, mit Sauerstoff eine der stärksten Säuren (Sticksäure oder Salpetersäure) als der positive Bestandtheil, mit Wasserstoff in negativer Rolle eine der stärksten Basen (Ammoniak).

Auf der rechten Seite, in deren rechte Abtheilung auch der Wasserstoff gehört, folgen nun zunächst die Metalle des gewöhnlichen Bewußtseins, miteinander eine Gruppe oder vielmehr Familie von Elementen bildend, da innerhalb derselben wieder engere Gruppen zu unterscheiden sind; zunächst die sogenannten edeln Metalle (die mit der vorigen Gruppe gleichsam als das Centrum sich betrachten lassen), nämlich das Gold, die Platinagruppe, d. h. Platina mit Palladium, Iridium, Rhodium, Osmium, das Silber und übergangbildend Quecksilber; alsdann die übrigen oder die unedlen Metalle, etwa in der Folge Kupfer, Uran, Blei, Zinn, die Zinkgruppe, d. h. Zink und Kadmium, vielleicht auch noch Wismuth, die Eisengruppe (d. h. Eisen, Kobalt und Nickel), Mangan und Cer (Cererium nebst dem Lanthan), beide vielleicht auch noch zur Eisengruppe zu zählen. Den Rest der Rechten nimmt die Familie der leichten Metalle ein, welche die Grundlagen

der Laugen und Erden bilden, erst durch die galvanische Säule entfesselt worden sind und den Vorstellungen des gewöhnlichen Bewußtseins von Metall nicht minder widerstreiten als die Metalle der Linken, denn diejenigen der äußersten Rechten sind weich wie Wachs und schwimmen auf dem Wasser brennend, indem sie demselben den Sauerstoff mit solcher Heftigkeit entreißen, daß der Wasserstoff und mit ihm das Metall sich entzündet. Diese Familie zerfällt in der Richtung nach rechts in drei Gruppen, wovon die erste die Metalle der Erden (oder die Thongruppe), d. h. der Thorerde, Zirkonerde, Yttererde, Beryllerde, Thonerde (Thorium, Zirkonium, Yttrium, Glycium oder Beryllium, Aluminium), und übergangbildend das Metall der Talk- oder Bittererde (Magnesium) enthält; die zweite die Metalle der laugenhaften Erden (oder die Kalkgruppe), d. h. der Schwererde, Strontianerde, Kalkerde (Barium, Strontium, Calcium); die dritte endlich die Metalle der Laugen (oder die Kaligruppe), d. h. des Lithins, Natrons und Kalis (Lithium, Natrium, Kalium), welche die Stoffe der äußersten Rechten sind. Alle Metalle der rechten Seite verbinden sich mit Sauerstoff zu basischen Oxyden und mit Wasserstoff gar nicht; manche Oxyde der Schwermetalle verhalten sich anderen gegenüber als Säuren, auch kommen völlige Säuren (z. B. Mangansäure und zwar bei diesem ziemlich weit rechts stehenden Metall) vor, was bei der zweiten Abtheilung nicht mehr der Fall ist, deren Oxyde die genannten Erden und Laugen sind.

Es ist höchst unwahrscheinlich, daß alle diese Stoffe wirkliche Elemente sind, vielmehr läßt eben der Umstand, daß die meisten derselben durch die große Aehnlichkeit in ihrem chemischen Verhalten in entschiedene Gruppen sich vereinigen, schließen, daß diese Aehnlichkeit nur auf einer gleichmäßigen Zusammensetzung aus eigentlichen Grundstoffen beruht. Es fehlt auch nicht ganz an Andeutungen oder Anhaltspunkten hiefür, und wir haben in der That einen solchen auf der äußersten Linken, sowie einen auf der äußersten Rechten. Denn eine gasförmige Verbindung von Stickstoff mit Kohlenstoff, das Cyan, benimmt sich in allen Verbindungen, die es mit Sauer-

stoff, Wasserstoff und Metallen eingeht, vollkommen auf dieselbe Art, wie die Stoffe der Chlorgruppe, dergestalt daß man kein Bedenken tragen darf, das Cyan dieser Gruppe einzureihen. Dieß ist das eine, das andere ist ein Metall, welches man unter dem Namen Ammon (Ammonium) voraussetzen zu müssen glaubte, und auch in Verbindung mit Quecksilber (Ammonamalgam) wirklich dargestellt hat, aber nicht für sich, so wenig als das Fluor. Die gasförmige Lauge nämlich, welche der Stickstoff mit dem Wasserstoff bildet, das Ammoniak, hat so große chemische Aehnlichkeit mit den mineralischen Laugen der Kaligruppe, daß man auch ein Metall ähnlich den Metallen dieser Gruppe in den Salzverbindungen des Ammoniaks gesucht hat, welches Metall, wie das Ammoniak selbst, aus Stickstoff und Wasserstoff bestehen muß, dergestalt daß es vom letzteren Stoff mehr enthält als das Ammoniak; in der That spielt eine solche Verbindung von Wasserstoff und Stickstoff in den Ammoniaksalzen dieselbe Rolle, wie das Kalium in den Kalisalzen, und die gelungene Amalgamirung dieser Verbindung deutet auf ihre metallische Natur. Viele Chemiker haben daher keinen Anstand genommen, das Ammon der Kaligruppe beizugesellen, und sie betrachten z. B. den Salmiak, der sonst als salzsaures (d. h. chlorwasserstoffsaures) Ammoniak galt, nunmehr unter diesem Gesichtspunkt als Chlorammon, welches dann ganz dem Chlornatrium (Kochsalz) als das entsprechende Ammonsalz zur Seite steht.

Die wenigsten dieser Elementarstoffe kommen frei in der Natur vor, am verhülltesten aber wieder die Metalle der äußeren Rechten, sowie mehrere Stoffe der Linken, nämlich außer denen der äußersten auch Phosphor und die Metalle der Linken. Mehrere sind wieder nur deßwegen zugleich mineralische Stoffe, weil sie durch die Zersetzungen, die mit den stets noch vor sich gehenden geologischen Prozessen verbunden sind, aus ihren Verbindungen frisch ausgeschieden werden, wie der Schwefel und mehrere Metalle der Mitte, namentlich Eisen; nur der Kohlenstoff und die edlen Metalle vermögen sich auf die Dauer im gediegenen Zustand zu erhalten, wenn sie

einmal in denselben gelangt sind, und wenn man will, so kann man auch von den beiden Stoffen der Linken, deren Gemenge die ungeheure Masse der Atmosphäre bildet, von Sauerstoff und Stickstoff aussagen, daß sie frei in der Natur sich behaupten, was dann theils dem ungeheuern Vorrath, theils der stetigen Wiedererzeugung des Sauerstoffs durch die organischen Prozesse an der Erdoberfläche zuzuschreiben ist. Von denjenigen Stoffen, welche nicht gediegen in der Natur vorkommen, sind wiederum entweder schon zweielementige Verbindungen oder gar erst Doppelverbindungen mineralbildend; so können wir den Phosphor nur an Sauerstoff und diese Phosphorsäure an eine Basis (namentlich Kalk) gebunden, ebenso das Kalimetall erst mit Sauerstoff zu Kali und dieses mit einer Säure zu einem Salz verbunden (z. B. Salpeter, oft erst zu einem Doppelsalz, wie Alaun, Feldspath). Doch giebt es auch und zwar sehr verbreitete Verbindungen der Metalle mit Stoffen der Linken, namentlich mit Chlor (beziehungsweise Fluor) und mit Schwefel (die Schwefelerze), übrigens auch mit Sauerstoff (gediegene Oxyde sind einige der feinsten Edelsteine, deßgleichen der Magnetstein, der Zinnstein u. a.).

Wenn man übrigens auf den Grad der Verbreitung sieht, in welchem unsere Grundstoffe mineralbildend auftreten, so drängt sich uns der Gedanke an eine gewisse Ueppigkeit der Natur auf, indem eine beträchtliche Anzahl der Grundstoffe wenigstens in der uns bekannten Erdrinde so spärlich und zerstreut auftritt, daß sie wie fremdartige Atome in den vorherrschenden Massen verschwinden. Dahin dürfen wir nicht nur Brom und Jod, Selen, Tellur und Antimon, alle Metalle der Kieselgruppe mit Ausnahme von diesem, die Metalle des Lithins, Strontians und aller Erden im engeren Sinn mit Ausnahme der Thonerde, die edeln Metalle nebst Uran, Kadmium und Wismuth, Kobalt und Nickel, Cer und Lanthan rechnen, sondern auch alle übrigen schweren Metalle, höchstens das Eisen ausgenommen, sowie auch noch das Fluor und das Barytmetall. Uebrigens dürfen wir dabei nicht vergessen, daß es sich nur um die Erdrinde handelt, und daß ohne Zweifel die Schwer-

metalle im Erdkern eine um so größere Rolle spielen, während sie von diesem ihrem Sitz aus durch plutonische Kräfte nur in zerstreuten Lagern, Gängen und Nestern in die aus leichteren Stoffen gebaute Erdrinde sozusagen versprengt worden sind. So bleibt eine verhältnißmäßig geringe Anzahl von Grundstoffen übrig, welche im Großen zur Zusammensetzung der Erdrinde, ihrer Hüllen und belebten Wesen beitragen, von der linken Seite nämlich Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Schwefel und Phosphor, Kohlenstoff und Kieselstoff, von der rechten Wasserstoff, Eisen und die Metalle des Thons, Kalks, Talks, Kalis und Natrons. Und unter diesen selbst besteht wieder ein beträchtlicher Unterschied; der Stickstoff z. B. kommt vorzüglich durch die Atmosphäre und die Thierwelt, in letzterer Beziehung deßgleichen der Phosphor in Betracht, Chlor und Natron durch das Meer; endlich stehen bei der festen Erdrinde selbst Kohle, Schwefel, Talkmetall und Eisen bedeutend zurück gegen Kiesel, Thon und Kalk, welche in Verbindung vor allem mit dem Sauerstoff, in zweiter Linie auch mit dem Kalimetall und dem Wasserstoff (wegen des alles durchdringenden Wassers) die Hauptmassen der Kruste unseres Planeten bilden, und da der Sauerstoff fast in keinem der größeren Gebilde fehlt, überdieß bei Luft, Wasser und organischer Welt als ein Hauptbestandtheil im Spiel ist, so ist er ohne Zweifel der verbreitetste unter sämmtlichen Grundstoffen, wenigstens in der uns zugänglichen Erde.

Das chemische Mineralsystem theilt nun auch zunächst die einfachen Mineralien, d. h. solche, welche, abgesehen von minder wesentlichen fremden Beimengungen oder Veränderungen (Färbungen), als chemische Verbindungen angesehen und daher mit chemischen Namen belegt werden können, nach den Elementen ein, welche als ihre Grundlagen zu betrachten sind. Dabei ist das Prinzip im Allgemeinen (indeß nicht ganz ausnahmsweise) dieß, daß als Grundlage stets derjenige Stoff gilt, welcher in der elektrochemischen Reihe weiter rechts steht. Dieß mag aus einer natürlich nicht vollständigen, sondern nur beispielsweise gehaltenen Aufzählung erhellen, indem wir aus

den gemäß den elementaren Grundlagen sich ergebenden Ordnungen einige hervorheben, welche dann wieder nach den oben angegebenen Klassen oder Gruppen der Elemente selbst in eben soviele Mineralklassen sich zusammenfassen lassen, während die den Ordnungen untergeordneten Gattungen wieder nach den Verbindungen zu unterscheiden sind, welche die Grundlage eingeht.

In der Schwefelgruppe haben wir die Ordnung der Schwefelmineralien, und in dieser als einzige Gattung den gediegenen Schwefel, das Produkt vulkanischer Prozesse, da die Schwefelerze sowie die schwefelsauren Salze bei den Metallen aufzutreten haben, welche hier als Grundlage der mineralischen Verbindung anzusehen sind; in dieselbe Klasse gehört die Ordnung der Arsenmineralien, wie gediegenes Arsen (Fliegenstein), Schwefelarsen (Operment) u. s. w. Die Ordnung (und zugleich Klasse) der Kohlenmineralien begreift die Gattung der gediegenen Kohle in den Arten des reinsten krystallisirten Kohlenstoffs oder des Diamants, des Graphits (mit Beimengung von Eisen) und des Anthracits (ebenfalls nur fast rein), die Gattung der Verbindungen mit Wasserstoff und Sauerstoff, wohin als Arten gehören einmal die Stoffe, welche die Familie der Bitume oder Erdharze bilden, wie der Bernstein, der Asphalt, die Naphtha (Erdöl), alsdann in der Famile der Steinkohlen (mit erdigen Bestandtheilen mehr oder weniger verunreinigt) Schwarzkohlen, Braunkohlen (Ligniten) und Torfe. In der Kieselgruppe haben wir neben der dürftigen Ordnung des Bor, wo blos krystallisirte Borsäure als seltenes vulkanisches Erzeugniß anzuführen ist, hauptsächlich die reichhaltige Ordnung der Kieselmineralien, obwohl nur die allverbreitete Kieselerde (Kieselsäure) hierher gehört, mit den beiden Gattungen der Quarze (Bergkrystall, Feuerstein, Quarzfels, Achat u. s. w.) und der wasserhaltigen Quarze (Kieselsäurehydrat, Opal, Kieselsinter u. s. w.); zum Theil sind diese Kieselmineralien, wie Feuerstein, Kieselguhr aus Panzern von Infusorien zusammengesetzt; andere, wie der Quarzfels oder der gemeine Quarz, kommen auch als Bestandtheile in einigen der mächtigsten Menggesteine, wie im Granit vor; bei mehreren

Arten endlich sind anderweitige Beimengungen (von Thon, Kohle, Eisenoxyd) bezeichnend, wie bei Jaspis, Kieselschiefer (Wetzstein). Wir erwähnen noch aus der Ordnung der sehr seltenen Titanmineralien die Titansäure, welche mit einigen Beimengungen das Mineral Rutil bildet, ähnliches übergehen wir.

Indem wir nun die größere Klasse der Schwermetalle von der Rechten betreten, so sind ihre Mineralien (die Klasse der Erze) theils Oxyde, theils Schwefelverbindungen (die Glänze, Blenden und Kiese), theils Salze, auch einige Chlorverbindungen (Hornerze) treten auf, besonders bei den edlen Metallen, und an der Stelle des Schwefels oder Chlors kommen auch hin und wieder andere Stoffe ihrer Gruppen vor (z. B. Tellur, Antimon, Brom u. s. w.); sehr häufig sind die Erze nicht rein, sondern enthalten insbesondere zwei und mehr Metalle einander beigesellt. Es ist schon bemerkt worden, daß die edeln Metalle häufig gediegen sich finden und manche dieser Gediegenmetalle sind wahre natürliche Legirungen (Platinaeisen, Goldsilber, Silberkupfer). Reichhaltig sind besonders die Ordnungen der Kupfermineralien und der Eisenmineralien; jene enthält als Gattungen gediegenes Kupfer, Kupferoxydul und Kupferoxyd, kohlensaures Kupfer (Malachit), kieselsaures Kupfer, schwefelsaures Kupfer (Kupfervitriol), Schwefelkupfer, Schwefelantimonkupfer u. s. w.; von dieser nennen wir beispielsweise die Gattungen des gediegenen Eisens (wobei an das Meteoreisen zu erinnern ist), Eisenoxyd (zum Theil mit Thonbeimengung, Eisenocker, Röthel), Eisenoxydhydrat, Eisenoxydoxydul (Magnetstein), Schwefeleisen (Magnetkies), schwefelsaures Eisen (Eisenvitriol), phosphorsaures Eisen u. s. w. Beim Zinn ist das Haupterz das Oxyd (Zinnstein), beim Blei das Schwefelblei (Bleiglanz), beim Mangan das Ueberoxyd (Braunstein) u. s. w.

Die reichste aller Ordnungen ist in der Klasse der Erdmetalle die der Thonmineralien, neben welcher in derselben Klasse nur noch die Ordnung der Talkmineralien ebenmäßig steht, die auch gemäß der Stellung des Talkmetalls theils mit jener, theils mit der folgenden Ordnung der Kalk-

mineralien sich gewissermaßen verzweigt. Wir haben hier in mehreren der einzelnen Gattungen, vor dem Uebergang zu den Arten, Kreise oder Familien zu unterscheiden; ja in einigen Familien greifen beide Ordnungen sozusagen ineinander ein, wie in der vorhergehenden Klasse der Erze, weßhalb wir sie auch wirklich zusammenfassen wollen. Nur vorübergehend berühren wir die Gattung der reinen Thonerde, die Korunde (Sapphir, Smirgel), die Gattung, die aus einer Verbindung reiner Thon- und Talkerde besteht, die Spinelle (Rubin), die Gattung der schwefelsauren Thonerde oder vielmehr der Doppelverbindungen aus dieser und anderen Schwefelsäuresalzen, die Alaune (woher der Name des Thonmetalls rührt); aber als besonders gesteinbildend sind die Verbindungen beider Erden mit der Kieselsäure hervorzuheben, welche die große Gattung der kieselsauren Erden bilden, wobei wir eben beide Haupterden kaum zu trennen vermögen. Wir nennen die Familie der Thone, aus kieselsaurer Thonerde bestehend, theils krystallisirt (Andalusit), theils erdig (Töpferthon, Porzellanerde), manchmal mit Eisenoxyd (Tripel); die Familie der Feldspathe, eine Doppelverbindung von kieselsaurer Thonerde mit kieselsauren Laugen, wie der Kalifeldspath oder Feldspath schlechtweg (Feldstein oder Felsit im unkrystallisirten Zustand), als der verbreitetste, aus dessen Verwitterung sowohl die Lager von Porzellanerde (d. h. der reinsten kieselsauren Thonerde) als der Kalibedarf der Pflanzen hergeleitet wird, während er selbst als wesentlicher Gemengtheil der mächtigsten Urgebirge (Granit, Gneis) auftritt, der Natronfeldspath oder Albit (mit seinen Nebenarten Labrador u. s. w.), die durch Hitze glasartig oder schlackenartig veränderten Feldspathgesteine (Obsidian, Bimsstein); die Familie der Zeolithe oder Kochsteine, bei denen ein starker Wassergehalt hinzukommt; die Familien der noch zusammengesetzteren Mineralien, der Topase und Granate (Turmalin), wo zu den Bestandtheilen des Feldspaths noch andere Basen (Talkerde, Kalkerde, Eisenoxyd) hinzukommen; die Familie des Serpentins, aus kieselsaurer Talkerde bestehend, wohin einerseits Serpentin, andererseits Speckstein, Meerschaum

gehört (in der Talkordnung was die Thone in der Thonordnung); die Familie des Augits, welcher unter den Talkmineralien dem Feldspath entspricht und ähnlicherweise durch Verwitterung die Walkerde liefert, wohin einerseits Diallag, Hypersthen u. s. w., andererseits Hornblende nebst Asbest gehört; endlich die Familie der Glimmer, denen ebenfalls eine große gesteinbildende Rolle zukommt, und wo Thonerde und Talkerde vorzugsweise zusammenspielt, so daß bei den gewöhnlichen Kaliglimmern (Marienglas) Thonerde vorherrscht, bei dem Talk aber (Talkglimmer nebst Topfstein) die Talkerde, die hievon sogar ihren Namen hat. Wir erwähnen noch, um die Aehnlichkeit der Thonmineralien mit anderen derselben Klasse hervorzuheben, die Beryllmineralien, wo die Berylle (Smaragd) Verbindungen der Kieselsäure mit Beryll- oder Süßerde (nebst etwas Thonerde) sind.

Wenn die Talkordnung bei dieser großen Verschwisterung mit der Thonordnung schon in der Gattung der schwefelsauren Verbindung etwas von derselben abweicht, indem die schwefelsaure Magnesia (Bittersalz, woher der Name Bittererde) hauptsächlich nur in Bitterwassern und im Meer aufgelöst vorkommt, während es förmliche Alaunsteine giebt: so macht das Auftreten der kohlensauren Verbindung bei den Talkmineralien einen einschneidenden Unterschied, und mit dieser Gattung der kohlensauren Talkerde nähert sich ihre Ordnung ebenso derjenigen der Kalkmineralien, wie auf dem Gebiet der kieselsauren Verbindungen der Thonordnung. In der That haben wir hier Talkspath und dichten Magnesit einerseits und in Verbindung mit Kalk Bitterkalk, d. h. krystallisirten Bitterspath, und unkrystallisirten oder dichten Dolomit, der viele Aehnlichkeit mit dem kohlensauren Kalk darbietet. Wir gelangen hiemit zu der sehr reichhaltilgen und höchstverbreiteten Ordnung der Kalkmineralien selbst, der Hauptordnung in der Klasse der Laugenerden, und hier steht wieder diejenige des kohlensauren Kalks obenan, mit den beiden Familien des Kalkspaths (krystallisirter Doppelspath, körniger Kalk oder Marmor, dichter Kalkstein, Kreide oder erdiger Infusorienkalk) und des Arragonits,

zu denen man noch die beiden vorhergehenden aus der Talkgruppe, die des Talkspaths und Bitterkalks ziehen könnte, um eine große Ordnung kohlensaurer Erden zu bilden. Bedeutend sind ferner die Ordnungen des Fluorcalciums oder Flußspaths und des schwefelsauren Kalks mit den Familien des Anhydrits, der wasserfrei, und des Gypses (Gypsspath, Alabaster), der wasserhaltig ist; zusammengesetzter endlich ist der Apatit (Spargelstein), der phosphorsauren Kalk mit Fluor- und Chlorcalcium enthält. In Aehnlichkeit enthält die Nebenordnung der Barytmineralien die Gattungen des Schwerspaths (schwefelsaurer Baryt) und des Witherits (kohlensaurer Baryt). Da wir die Doppelverbindungen der kieselsauren Laugen mit den kieselsauren Erden bei den Thon- und Talkmineralien anzuführen hatten, so bleiben in der (letzten) Klasse der Laugenmineralien blos einige Salze, wie der Salpeter (stickſaures Kali oder Natron), das Steinsalz (Chlornatrium), Borax (borsaures Natron), Salmiak (Chlorammon). Solche lösliche Salze (wie unter den früher genannten auch das Bittersalz) bilden meist (wo sie nicht in Wasser aufgelöst sind) krystallinische Anflüge oder Ueberzüge, manchmal jedoch über große Strecken Landes, und Steinsalz auch mächtige innere Lager. Eine besondere Ordnung und zugleich Klasse würde endlich auf der rechten Seite die des Wasserstoffs bilden, d. h. das Wasser mit seinen mannigfachen Beimengungen im Meerwasser und in den Mineralwassern, wenn man nicht vorzieht, das Wasser mit den Gasarten von den eigentlichen Mineralien zu sondern.

Ehe wir jetzt von den einfachen Mineralien zu den Felsarten oder Gesteinen aufsteigen, welche als mehr oder minder verbreitete Bestandtheile der Erdrinde anzusehen sind, mögen noch einige Worte über die Mineralsysteme am Ort sein. Zunächst gehört das chemische Mineralsystem allerdings zu den sogenannten künstlichen Systemen der Naturgeschichte, welche nach einem einzelnen Merkmal eintheilen, während die natürlichen Systeme dahin streben, nach allen wesentlichen Merkmalen und Beziehungen zumal einzutheilen. Solche anderweitige Merkmale sind bei den Mineralien das Gefüge

und vornehmlich die Krystallgestalt, ferner Löslichkeit, Schmelzbarkeit, Brennbarkeit u. s. w., oder das Verhalten zu Wasser und Wärme. Es erhellt aber von selbst, daß ein weit einseitigeres künstliches System sich ergeben würde, wenn man das gewichtigste unter diesen Merkmalen, die Krystallgestalt, zu Grund legte und die Mineralien zunächst in die drei Kreise der sozusagen ganz gestaltlosen, der krystallinischen (d. h. gestaltlose Gefüge krystallisirter Theilchen bildend) und der krystallisirten eintheilte, letztere aber nach den Krystallgrundformen in ebensoviele Klassen; Grundformen, auf welche sich nämlich alle übrigen zurückführen lassen, und wornach man sechs Krystallsysteme unterscheidet. Nun kommt aber in der Natur manchmal der Fall vor, daß ein und derselbe Stoff in verschiedenen Grundformen krystallisirt, ein Fall, der bei dem kohlensauren Kalk statt findet und dessen beide Familien begründet (Dimorphie); noch häufiger und durchherrschender aber ist der Fall, daß ähnliche Stoffe oder Stoffe mit ähnlichen Bestandtheilen auch die nämliche Krystallform annehmen, wovon uns die Alaune ein Beispiel geben, bei denen die Krystallform sich nicht ändert, wenn, während die schwefelsaure Thonerde als der eine Bestandtheil des Doppelsalzes bleibt, an die Stelle des Kalis eine andere Lauge tritt (Isomorphie). Daraus geht hervor, daß das Merkmal der Krystallform mit der chemischen Zusammensetzung eines Minerals in einem inneren Zusammenhang steht, und ähnliches läßt sich in der That auch von anderen jener bedeutsamen mineralogischen Merkmale behaupten, die sich auf das Verhältniß zu Wasser und Wärme und zum chemischen Prozeß überhaupt beziehen. Solche Betrachtungen berechtigen zu der Behauptung, daß das chemische Mineralsystem doch etwas mehr als ein einseitiges künstliches System ist, daß es vielmehr um so mehr dem wahren natürlichen System sich nähert und um so mehr die natürlichen Klassen des Mineralreichs hervortreten läßt, je natürlicher, allseitiger die zu Grunde liegende Eintheilung der chemischen Elemente ist. Wir dürfen freilich uns nicht anmaßen, daß die wahren natürlichen Gruppen dieser Grundstoffe mit

vollkommener Schärfe ermittelt sind, und dürfen uns auch nicht verhehlen, daß z. B. die oben angegebene Eintheilung durch künftige chemische Entdeckungen, dergleichen die Zerlegung unserer bisherigen Elemente wäre, bedeutsame Berichtigungen erfahren müßte.

Man ist heutzutage im Streben nach einem natürlichen Mineralsystem häufig zu einer alten Eintheilung des Mineralreichs zurückgekehrt, nämlich in die vier großen Klassen der Brenze (brennbare Mineralien), Erze (Metalle), Erden (Steine) und Salze (Hydrolyten). Wenn aber Oken versucht hat, dieser landläufigen Eintheilung eine vermeintliche wissenschaftliche Grundlage zu geben durch die Beziehung auf die sogenannten vier Elemente des gewöhnlichen Bewußtseins, wornach die Brenze Luftmineralien, die Erze Feuermineralien, die Erden Erdmineralien, die Salze Wassermineralien sein sollen, so müssen wir uns aufs nachdrücklichste hiegegen verwahren, da jene vier Elemente in keiner Hinsicht mehr eine wissenschaftliche Bedeutung haben können, und da weder die eben angeführte Zusammenstellung, noch die weitere, scheinbar durch Ebenmaß sich empfehlende Ausspinnung jener Klassen in ihre Ordnungen mehr als ein willkührliches Begriffsspiel ist. Aber abgesehen von der Okenschen Wendung des fraglichen Mineralsystems ist einmal sogleich klar, daß die vier Grundbegriffe keineswegs scharf geschiedene Klassen geben, denn eine Menge von Erzen (wie die Schwefelerze) sind brennbare Körper sogut wie die sogenannten Brenze, die nach dem betreffenden System in Schwefelbrenze, Harzbrenze und Kohlenbrenze zerfallen; manche Salze (wie die Vitriole) kann man ebensogut zu den Erzen rechnen, und ebenso ist zwischen Steinen und Salzen schwer eine Gränzlinie zu ziehen, wenn man auch von dem chemischen Salzbegriff ganz absieht (z. B. Alaunstein, den das System bei den Salzen, Gyps, den es bei den Erden bringen wird, denn die Löslichkeit im Wasser hat eine Menge von Abstufungen). Alsdann ist nicht zu übersehen, daß das chemische System in der That mit jenem sozusagen populären System in manchen Zusammenstellungen zusammentrifft,

wenn wir die Gruppen der Elemente in obiger Weise den Klassen des Mineralreichs zu Grund legen; denn es hat sich uns dabei eine Klasse der Erze ergeben, die sogenannten Brenze vertheilen sich in zwei benachbarte Klassen unseres Systems, die Klassen der Schwefelgruppe und der Kohlengruppe; die entschiedensten Salze im gewöhnlichen Sinn stehen in unserer letzten Klasse beisammen, welche der Laugengruppe entspricht (und man kann, wenn man will, auch die Alaune dorthin ziehen); die Erden und Steine endlich bilden drei unserer Klassen, die den Gruppen des Kiesels, der Erden und der Laugenerden entsprechen, auch könnte man die drei Klassen in eine höhere Abtheilung der Erden zusammenfassen, und darin saure Erden (Kieselsäure gleich Kieselerde u. s. w.), neutrale Erden (Thon- und Talkgruppe) und Laugenerden (Kalkgruppe) als Unterabtheilungen nebeneinander stellen, eine Dreitheilung der Erden, welche z. B. derjenigen in Kieselspathe, Erzspathe und Irdspathe entschieden vorzuziehen sein möchte.

Endlich können wir nicht unerwähnt lassen, daß man in neuerer Zeit aus den Gasen und Wassern unter dem Namen der Atmosphärilien entweder ein eigenes Reich, das mit dem Mineralreich die unorganische Welt ausmache, oder eine erste und unterste Provinz des Mineralreichs bilden wollte. Diejenigen „Atmosphärilien", welche aus der Erdrinde vorübergehend oder in ständigen Quellen sich entwickeln, haben wir im vorigen Abschnitt mit den Prozessen betrachtet, welche ihrer Entwicklung zu Grund liegen. Nachdem wir nun in diesem zu den Elementarstoffen zurückgegangen sind und die einfachen Mineralien betrachtet haben, welche gleichsam als die entfernteren Bestandtheile den näheren und größere Massen bildenden Bestandtheilen der festen Erdrinde zu Grund liegen, schreiten wir zur Betrachtung der letzteren, d. h. der Felsarten oder Gesteine, und erheben uns von diesen endlich zu den geognostischen Gebilden (Formationen), welche unmittelbar das Gefüge der Erdrinde bilden, und denen die Felsarten wieder ebenso zu Grund liegen, wie diesen die einfachen Mineralien.

Die Erdrinde besteht aus einer verhältnißmäßig geringen Anzahl verschiedener Felsarten, und diese sind in den verschiedensten Gegenden der Erde einander vollkommen gleich, verhalten sich also ganz anders als die organische Welt; sie unterscheiden sich geographisch erst hinsichtlich der zerstreuten und zufälligen Bestandtheile, welche sie führen. Man muß nämlich von der Hauptmasse des Gesteins solche zufällige Bestandtheile unterscheiden, und diese sind theils einfache Mineralien, wie Erze, Steinindividuen, besonders Krystalle (Edelsteine) in Gängen, Lagern und Nestern, theils organische Ueberreste, die man im Allgemeinen unter dem Namen der Versteinerungen begreift, wohin im weitesten Sinn selbst die Steinkohlenlager gerechnet werden könnten. Da diese aber selbst wieder als mächtige Gebilde auftreten, so halten wir uns an den engeren Sinn, der selbst schon mannigfaltige Erscheinungen begreift. Denn es gehören hieher nicht nur wirkliche Versteinerungen, d. h. organische Körper, welche in eine steinige Masse verwandelt worden sind, sei es daß sie von einem mineralischen Stoff vollkommen durchdrungen wurden, indem derselbe die verschwindenden Theile jener Körper ersetzte, oder daß die von ihnen in einem Gestein hinterlassenen hohlen Räume von einem mineralischen Stoff ausgefüllt wurden, wobei dieser ihre Gestalt annahm; sondern auch, was sich zunächst noch an letzteren Hergang anschließt, Abdrücke (Typolithen) und Steinkerne (Metrolithen, d. h. mit Stein angefüllte Höhlungen organischer Körper, welche selbst sich in der umgebenden Masse aufgelöst haben), ferner aber fossile oder calcinirte Körper (Inkrustationen fester organischer Stoffe), bituminöse oder verkohlte Körper, und endlich Einschließlinge, d. h. Körper, welche fast ganz unversehrt in steinige Massen eingeschlossen sich erhalten haben (z. B. Insekten in Krystallen). Auf die untergegangenen organischen Welten, worauf die Versteinerungen schließen lassen, werden wir sofort an späteren Stellen zu sprechen kommen, wo wir von den Gebilden und ihrem Alter handeln.

Die mineralogische Eintheilung der Felsarten geht

von ihrer Zusammensetzung aus und unterscheidet einfache oder gleichartige Gesteine und ungleichartige oder Meng-Gesteine, unter diesen wieder die von krystallinischem Gefüge und die mechanisch gemengten, ganz formlosen Gesteine. Es versteht sich, daß die gleichartigen Gesteine nichts anderes sind als einfache Mineralien; diejenigen, welche größere Stücke der Erdrinde bilden, sind die Mineralien der Steinkohlenfamilie, der gemeine Quarz (Quarzfels), einige Eisensteine (Braun-, Roth-, Spath-, auch Magnet-Eisenstein), Feldstein (Felsit), Augit und Hornblende, einige Glimmer (namentlich Talkglimmer), Serpentin, Kalkstein und Dolomit (Rauhwacke), Gyps, Steinsalz. Einige von diesen einfachen Mineralien, welche auch für sich als Felsarten auftreten, sind die wesentlichen Bestandtheile der krystallinischen Menggesteine, nämlich Quarz, Feldspath, Feldstein und Albit, Talk und Glimmer, Hornblende und Augit. Sie bilden in verschiedenen Mengverhältnissen und Gefügen die weitverbreiteten Felsarten, welche meistens als geschmolzene Massen flüssig oder weich unten sich abgelagert haben oder aus dem Inneren hervorgedrungen sind. Es sind die schieferigen Gesteine, wie der Thonschiefer (Grauwacke) aus Glimmer, Quarz, Feldspath, Talk, der Glimmerschiefer aus Glimmer und Quarz, der Gneiß aus Quarz, Glimmer und Feldspath, der Grünsteinschiefer aus Feldstein oder Albit und Augit oder Hornblende; die körnigen (granitartigen) Gesteine, wie der Granit, der eben daher seinen Namen hat, und wie Gneiß aus Quarz, Glimmer und Feldspath besteht, der Syenit aus Feldspath und Hornblende, oft auch mit Quarz und Glimmer, der körnige Grünstein; die porphyrartigen (und mandelsteinartigen) Gesteine, welche einzelne größere Krystalle in einer sonst dichten Masse enthalten, wie der porphyrartige Granit, der eigentliche Porphyr, eine Feldsteinmasse mit Krystallen von Feldspath, Quarz, auch Glimmer und Hornblende, der Melaphyr aus Augit und Labrador; endlich (mehr oder weniger) schlackige Gesteine, übrigens mit zahlreichen Annäherungen an die vorhergehenden Gefüge (das körnige, porphyrartige und schiefrige), wie der Ba-

salt aus Augit und Feldspath nebst Eisenstein, der Klingstein (Phonolith) aus Feldstein und Natrolith (eine Art Kochstein), der Trachyt, d. h. Feldstein mit glasigem Feldspath und Glimmer, die Lava, vornehmlich aus Augit und Feldstein, auch mit Albit und Magneteisen bestehend. Unter den mechanisch gemengten Gesteinen (Trümmergesteinen) unterscheiden wir zwei Klassen, einmal solche, deren Grundlage das ist, was man Schutt, Kies (Geschiebe) und Sand nennt, und bald in lockeren Anhäufungen ohne Bindemittel vorkommt, bald aber durch ein Bindemittel (Thon, Kalk, Eisenoxyd) zu mächtigen festen Steinmassen zusammengekittet erscheint, um Breccie, Conglomerat (z. B. Nagelfluh), Sandstein zu heißen, je nachdem die zusammengekitteten Trümmer eckige Bruchstücke (Schutt), abgerundete Geschiebe (Kies) oder Sandkörner (gegen die das Bindemittel dann sehr zurücktritt) sind. Die andere Klasse begreift erdige Gemenge, z. B. von Kalk und Thon (Mergel), von Thon und Kiesel (Thon, Lehm, Löß), meist locker, mitunter auch zu festen Massen zusammengebacken (Mergelschiefer, Thonstein, Tuff, z. B. der aus vulkanischer Asche zusammengebackene vulkanische Tuff, Traß); in diese Klasse kann man zuletzt auch die Dammerde rechnen, die oberste Bodenschicht in allem pflanzenfähigen Land, die sich fortwährend durch Verwitterung der zunächst unten befindlichen Gesteine und durch Vermoderung organischer Abfälle bildet, ein Hergang, den wir schon im vorigen Abschnitt berührt haben. Wir bemerken übrigens noch, daß im Grund die verschiedenen Trümmergesteine einen stetigen Fortschritt bilden nach dem Grad der Zertheilung der zu Grunde liegenden Trümmer und mit den drei Hauptstufen, wonach gröbere Kiesmassen zu Conglomeraten oder Breccien, Sandmassen zu Sandsteinen, staubartige Massen zu Thonen und Mergeln verbunden (beziehungsweise erhärtet) werden.

Wichtiger aber ist für uns die geologische Eintheilung der Felsarten, die auf die Hergänge zurückgeht, denen sie ihren Ursprung verdanken. In dieser Beziehung unterscheidet man nach Humboldt vier Hauptgattungen, das Absatz-

gestein (exogene Felsarten), entstanden durch die unter alleiniger Wirkung oder unter Mitwirkung des Wassers vor sich gehenden Ablagerungen von außen nach innen, das Ausbruchgestein (endogene Felsarten), aus dem Erdinneren hervorgeschoben und theilweise übergelagert, das Umwandlungsgestein, d. h. Gesteine der beiden vorigen Klassen, welche durch plutonische Wirkungen (meist chemisch) umgewandelt worden sind, und das Trümmergestein, d. h. Felsarten, welche wieder unter neptunischer Wirksamkeit aus Trümmern der drei vorhergehenden Gesteinsklassen nur mechanisch zusammengesetzt worden sind, so daß also diese Klasse mit der letzten Klasse der mineralogischen Eintheilung zusammentrifft.

Im Ausbruchgestein haben wir das unmittelbare Erzeugniß der unterirdischen Schmelzprozesse in Verbindung mit der durch Dämpfe vermittelten Wirksamkeit von innen nach außen. Unterscheiden wir wieder nach den einzelnen Hergängen, so steht dem vulkanischen Gestein (im engeren Sinn) das plutonische (im engeren Sinn) gegenüber; dieses ist zähflüssig aufgestiegen, Kuppen und Dome bildend ohne Ueberlagerung, jenes ist aus Oeffnungen ausgeflossen und hat, wie noch jetzt bei den Lavaergüssen geschieht, die Umgebungen der Oeffnungen überlagert. Es gehören hieher die krystallinischen Menggesteine, die oben angeführt worden sind, aber wir müssen einerseits die erste Klasse derselben, die schiefrigen Gesteine, abrechnen, andererseits von den gleichartigen Gesteinen den Serpentin, die Augitfelsen (Hypersthen) u. a. hinzunehmen. Humboldt unterscheidet folgende Gruppen: Granit und Syenit von verschiedenem Alter; Quarzporphyr; Grünsteine und Diorite; Hypersthenfels; Euphotid und Serpentin; Melaphyr und Augitporphyr; endlich Basalt, Phonolith, Trachyt und Dolorit; eine Gruppirung, welche sich auf die Reihenfolge ihres Ausbruchs bezieht, wie sich weiter unten zeigen wird. Ihre Bedeutung wird theils aus den obigen Angaben über die mineralogische Zusammensetzung, theils aus dem erhellen, was weiter unten noch über ihre Lagerung in der Erdrinde im Großen zu bemerken ist.

Unterscheiden wir auch beim Absatzgestein die Schattirungen und Verwicklungen der neptunischen Thätigkeit, so trennen sich uns von dem reinen Absatzgestein, niedergeschlagen sei es aus chemischer Auflösung, sei es aus dem mechanisch schwebenden Zustand, die Kohlenablagerungen und die Infusorienlager, wo die Thätigkeit des Wassers mit organischen Wirkungen verbunden erscheint. Uebrigens fehlt dabei keineswegs alle plutonische Mitwirkung, denn nicht nur dürfen wir wohl bei dem in den Steinkohlenlagern vorgegangenen Verkohlungsproceß, so gewiß er auf nassem Wege vor sich gegangen ist, an die Mitwirkung der inneren Wärme denken, zumal bei dem höchsten Grad der Verkohlung, sondern auch die ältesten schlammartigen Niederschläge unter Wasser, woraus die Schiefer des Uebergangsgebirges geworden sind, waren ebenso durch die damalige größere Wärme an der Erdfläche wie durch den ungleich höheren Druck bedingt, aber sie sind „nicht etwa aus geschmolzenen Massen erstarrt, sondern unter dem hohen Druck zu schiefrigem Gefüge erhärtet.“ Darnach unterscheiden wir auch bei dem aus dem Wasser abgesetzten Gestein drei Klassen, die Schiefer des Uebergangsgebirgs (Grauwacke), deren Hauptstoff Thon ist, die Kalksteine der verschiedenen Flötzgebirge, und die jüngsten nicht unter mächtiger Wasserbedeckung, sondern fast an der Luft vor sich gehenden Ablagerungen von Süßwasserkalk und Kieselguhr.

In Betreff der plutonischen Umwandlungsprozesse und der Ausscheidung der umgewandelten Gesteine müssen wir etwas weiter ausholen. Schon im vorigen Abschnitt wurde bemerklich gemacht, daß unter den weitesten Begriff der Umwandlung auch viele jovische Veränderungen fallen würden, welche die zu Tag gehenden Gesteine durch Luft und Wetter erleiden: Verwitterungsprozesse, welche die Außenfläche der Gesteine nach Farbe und Gefüge verändern, vermöge deren auch manche Gesteine, wie Feldspathe und Augite, chemisch zerfallen und Lager von Porcellanerde und Walkerde erzeugen; Erdbrände an der Oberfläche, wodurch ein Thonlager förmlich gebrannt wird und in den sogenannten Porzellanjaspis über-

geht u. s. w. Es mag auch im Vorübergehen angedeutet werden, mit welchem Glück die neuere Chemie die oberflächlichen Umwandlungsprozesse für Pflanzenphysiologie und Ackerbau ausgebeutet hat. Eine noch reichere geologische Ausbeute aber verspricht die Chemie hinsichtlich umfassender Umwandlungen, welche mit den Felsarten durch Wirkungen von unten vor sich gegangen sind, und auf diese bezieht sich der Begriff des Metamorphismus und der metamorphischen Gesteine, der uns hier beschäftigen muß. Mehrere theils vereinzelter auftretende, theils weit verbreitete Gesteine, deren Schichtung oder Lagerung entschieden auf neptunische Entstehung hinweist, waren schon in früheren Zeiten den Geologen so räthselhaft, daß man sie als „abnorme Bildungen" zu bezeichnen sich veranlaßt fand; chemische Betrachtungen aber und Erfahrungen in chemischen und bergmännischen Werkstätten haben die Ueberzeugung herbeigeführt, daß die Berührung mit den unteren und von innen ausgebrochenen Gesteinen, die Wirkung ihrer höheren Wärme und der mitaufsteigenden Gase und Dämpfe jene Abweichungen herbeigeführt haben; und wenn diese „Geochemie" auch noch die Mehrzahl der Erscheinungen im Einzelnen nicht auszulegen weiß, so ist doch in manchen Fällen die Erklärung sozusagen thatsächlich nachgewiesen.

In der That mußten durch die plutonischen Wirkungen die bereits vorhandenen Felsarten nach chemischer Zusammensetzung wie nach dem mineralischen Gefüge mehrfältig verändert werden. Man kann diese Veränderungen auf dreierlei Hergänge zurückführen; mechanischen Einschuß (Injection), wenn ein geschmolzen in eine etwa noch weiche Masse eindringender Stoff einen neuen Gemengtheil in dieselbe nach ihrer ganzen Ausdehnung bringt (so Erze durch Einschuß von Metall, Quarzfelsen (Quarzit) durch Einschuß von Kieselerde, Durchdringung mit Asphalt u. dgl.); Umschmelzung, wodurch ohne Veränderung der Bestandtheile eine Umwandlung des Gefüges bewerkstelligt wird (z. B. Verwandlung des dichten Kalksteins in körnigen oder Marmor), und chemischer Stoffumsatz nach dem Gesetz der Wahlverwandtschaft (z. B. Um-

wandlung des kohlensauren Kalks in schwefelsauren Kalk oder Gyps durch Austausch der Säuren und in kohlensaure Bittererde oder Dolomit durch Austausch der Basen). Nach den bei derartigen Hergängen ins Spiel gesetzten Stoffen spricht man neuerdings noch von den besonderen Prozessen der Verkieselung (z. B. Verwandlung von Thonschiefer in Kieselschiefer durch Eindringen von Kieselsäure, und bei noch höherem Grad in Bandjaspis), der Dolomitisirung (des Kalks, die bereits erwähnt wurde), Metallisirung (Erzbildung), Carbonisirung (Schwarzfärbung durch eingedrungene Kohle, sowie Durchsetzung mit Graphit), Vergneißung (wovon sogleich die Rede werden wird) u. s. w.

Nach diesen Andeutungen können wir nun die Klasse der Umwandlungsgesteine näher ermessen. Wir rechnen dahin einmal die sogenannten abnormen Glieder der Kalkreihe, wie der Thonreihe (der beiden Hauptklassen der neptunischen Felsarten); dort sind die Gesteine des schwefelsauren Kalks, Anhydrit und Gyps, womit auf merkwürdige Art die Steinsalzlager vergesellschaftet sind, der Marmor und der Dolomit auszuzeichnen und finden ihre Erklärung bereits im vorhergehenden; hier Kieselschiefer, Jaspis, Spilit (Grünschiefer), Quarzfels. Die ungleich bedeutendsten unter den metamorphischen Gesteinen aber sind die Felsarten des geschichteten Urgebirgs, welche wir deßhalb, obgleich ebenfalls zur Thonreihe gehörig, besonders als zweite Gruppe der metamorphischen Gesteine hervorheben. Es kann keine Frage sein, daß die untersten neptunischen Gesteine, wie sie zunächst mit den plutonischen Gesteinen in Berührung stehen, so auch durch deren Einwirkung in der Entstehungszeit am meisten der Umwandlung unterworfen waren. Es gehören dahin die mächtigen und weit verbreiteten Schiefer des Urgebirgs, der Talk- und Glimmerschiefer, und der Gneiß (Feldspathschiefer). Die heutige Geologie erkennt in denselben Umwandlungen des Thonschiefers, der sofort weiter oben im Uebergangsgebirg selbständig auftritt, durch die Berührung mit den plutonischen Gesteinen, vor allem dem Granit. In der That

ist es zu auffallend, wie sehr der Granit mit dem Gneiß vergesellschaftet auftritt, als daß man an dem inneren Zusammenhang beider Gesteine nach dem Prinzip der plutonischen Gesteinsumwandlung zweifeln sollte, vermöge welchem der Thonschiefer, welcher bereits die Bestandtheile des Granits enthält, durch die Berührung mit dem Granit „vergneißt“ worden ist.

Wenn aber neuere Geologen noch weiter gehen, und dieses Prinzip selbst auf die Mehrzahl der massigen plutonischen Gesteine selbst anwenden wollen, dergestalt daß auch Granite und Porphyre nur Umwandlungen bereits vorhandener Flözbildungen wären als letzte Stufe dieses Umwandlungsprozesses, auf welcher der neptunische Ursprung gänzlich sich verwischt hätte, und daß dann als rein vulkanische Felsarten nur solche blieben, deren Ursprung durch unmittelbaren Ausbruch in ihrem Vorkommen in Gängen und Adern unverkennbar ist: so möchten wir uns vor der Hand damit begnügen, diese Ansicht erwähnt zu haben, ohne ihr beizupflichten. Auch anderen geologischen Prinzipen ist schon bei ihrer Entdeckung, als sich daraus ein neues Licht über viele Erscheinungen verbreitete, eine zu große Ausdehnung gegeben worden; wir erinnern nur an die Theorie von der Eiszeit nach dem Prinzip der Gletscherbildungen, an die weite Ausdehnung, welche man dem Prinzip der Infusorienlager geben wollte, nachdem Ehrenbergs mikroskopische Entdeckungen diesen organischen Ursprung bei manchen Felsarten nachgewiesen hatte. Ohne Zweifel setzen die neptunischen Bildungen bereits eine Grundlage von fester Erdrinde voraus, die nicht anders als durch die an der Außenfläche beginnende Erstarrung geschmolzener Massen entstanden sein kann; wollen wir also bei dieser ursprünglichen Erdkruste nicht eher mit Humboldt an Granit denken, der sich gewiß am meisten unter allen bekannten Gesteinen eignet, als daß wir ihn aus der Reihe der ursprünglichen plutonischen Gesteine unter die Umwandlungsgesteine versetzen? Hierauf kommen wir aber zurück, und beschließen die Betrachtung der umgewandelten Gesteine mit der Be-

merkung, daß wir uns weiter auf vereinzelte Umwandlungsprozesse, welche zerstreuten nicht gesteinbildenden Mineralien zu Grunde liegen mögen (worunter Humboldt die Granatbildung hervorhebt), hier nicht weiter einlassen können.

Die vierte Gattung der Gesteine, die Trümmergesteine sind bereits betrachtet worden; wir haben nur noch von dem jetzigen ursächlichen Gesichtspunkt aus auf den gedoppelten Hergang der Zerstörung und Wiederzusammenfügung aufmerksam zu machen. Hinsichtlich des letzteren ist schon oben die Verkittung größerer und kleinerer Bruchstücke durch ein Bindemittel von der bloßen Zusammenbackung erdiger Massen unterschieden worden. Was aber den Hergang der Zertrümmerung betrifft, so ist nicht nur an die ausrodende Thätigkeit des Wassers und an Verwitterung zu denken, sondern auch an plutonische Ursachen, Zetrümmerung durch Stoß von unten, durch die Reibung des aufsteigenden Gesteins gegen die Wände der Spalten (Reibungs-Breccien, plutonisches Trümmergestein). Endlich müssen zu sehr entlegenen Epochen der Erdbildung Zerstörungen älterer Gesteine in großartigem Maßstab stattgefunden haben, weßhalb wir sofort Sandsteinbildungen vom Uebergangsgebirg an bis zu den jüngsten Bildungen mit anderweitigen neptunischen Ablagerungen wechseln sehen.

Nachdem wir nun von den chemischen Elementen zu den einfachen Mineralien und von diesen zu den Felsarten fortgeschritten sind, haben wir jetzt noch den letzten Schritt, von den Gesteinen zu den geognostischen Gebilden (Formationen) übrig, wie sie in einer gewissen Folge das unmittelbare Gefüge der Erdrinde bilden. Landläufig bekannt sind in dieser Beziehung die Namen des Urgebirgs, Uebergangsgebirgs, Sekundärgebirgs (Flötzgebirgs im engeren Sinn), des Tertiärgebirgs und des Quaternärgebirgs (Alluvium und Diluvium), nach welchen man ehedem die einzelnen Gebilde einzutheilen pflegte, weßhalb wir auch keinen Anstand nahmen, diese Namen früher zu gebrauchen. Allein ohne diese Gesichtspunkte ganz fallen zu lassen, zieht man es heutzutage meistens vor, die einzelnen Gebilde, d. h. die in

einerlei Zeitraum und somit wohl auch unter einerlei Verhältnissen entstandenen Theile der Erdrinde nach der Art, wie sie sich in der Regel begleiten, in anderweitige geologische Gruppen zusammenzufassen, worin bei allen Abweichungen die einzelnen Darstellungen der Geologen im Wesentlichen so ziemlich übereinstimmen, und die Abtheilung in Wasser- und Feuergebilde (neptunische und plutonische) an die Spitze zu stellen. Das einzelne Gebilde kann aus verschiedenen Gesteinen bestehen, welche dann als seine Glieder erscheinen; ihre Namen, meist zufällig entstanden, zum Theil von geographischen Oertlichkeiten hergenommen, haben oft keine nähere Beziehungen zur Natur ihrer mineralischen Bestandtheile.

Die Erdrinde ist von der ursprünglich dünnen Kruste aus, welche zuerst aus dem feuerflüssigen Zustand erstarrte, in zwei Richtungen gewachsen, einmal, was jeder Bergdurchschnitt zeigt, von innen nach außen durch die allmälig auf einandergelagerten Wassergebilde, deren Altersfolge von unten nach oben geht, alsdann aber ohne Zweifel auch von außen nach innen durch die nach innen fortschreitende Erstarrung der Feuergebilde, deren Altersfolge somit in der entgegengesetzten Richtung von oben nach unten geht. Diese Folge der Feuergebilde wäre aber der Anschauung unzugänglich, wenn sie nicht durch die plutonischen Wirkungen von innen nach außen hin und wieder zu Tage giengen, die über ihnen befindlichen Lager durchsetzend, „als Zweige eines unteren Lagers,“ wie Humboldt sagt. Nun ist klar, daß dasjenige Feuergebilde, welches ein anderes über ihm befindliches durchsetzt, aus größerer Tiefe stammt und später in feuerflüssigem Zustand ausgebrochen ist, als das durchsetzte, welches damals bereits erstarrt war. Der Porphyr ist also ein jüngeres Ausbruchgestein, als der Granit, weil er diesen durchsetzt, und der Basalt und Trachyt aus demselben Grund jünger als der Porphyr; das jüngste von allen ist das vulkanische Gestein oder die Lava, die heute noch ausbricht, und kommt ebendeßhalb aus der größten Tiefe, wo die Erdmasse noch jetzt in feuerflüssigem Zustande sich befindet. Wie also die sich von unten nach oben

schichtenweise folgenden Wassergebilde aus ebensovielen Wasserbedeckungen in verschiedenen ohne Zweifel sehr langen Zeiträumen stammen, so dürfen wir auch für die von oben nach unten sich folgenden Feuerbildungen solche Zeiträume annehmen, in welchen sie aus feuerflüssigem Zustand erstarrten und zeitweise zum Ausbruch kamen, welcher nach vollendeter Erstarrung aufhören mußte. Hiernach kann man auch auf das gegenseitige Alter der Wasser- und Feuergebilde schließen, denn ein Wassergebilde, welches von einem Feuergebilde durchsetzt wird, mußte gleicherweise schon vorhanden gewesen sein, als dieses zum Ausbruch kam, nur daß freilich der gleichlaufende Schluß minder bindend ist, wornach aus dem Umstand, daß ein Flözgebilde nie von einem gewissen plutonischen Gebilde durchsetzt wird, ein höheres Alter des letzteren gefolgert würde. Man hat indeß selbst schon den Gedanken gehabt, die Wasserbildungen nach den Hebungsepochen der verschiedenen Feuergebilde anzuordnen, allein wenn sich dieser Gedanke auch besser durchführen ließe, als es aus dem angeführten Grunde möglich ist, so müßten wir doch nur eine einseitige Rücksicht darin erkennen, welcher andere zum mindesten ebenbürtig zur Seite stehen.

Wir haben nämlich bei den Wassergebilden noch zwei gewichtige Anhaltspunkte für ihre allmälige Entstehung. Der eine ist das Vorkommen von Trümmergestein, welches seiner Natur nach jünger sein muß als dasjenige, aus dessen Trümmern es entstanden ist, sowie diejenigen Gebilde, in welchen kein Trümmergestein vorhanden ist, älter sein müssen, als solche, in welchen es aufzutreten beginnt. Der andere und noch weit folgenreichere Anhaltspunkt ist das Vorkommen organischer Ueberreste oder Versteinerungen. Nur in den Wasserbildungen finden sich solche, und überdieß nicht in den ältesten, wenn wir anders nach der obigen Ansicht von der plutonischen Metamorphose die ältesten Schiefergebilde (Gneiß u. s. w.) zu den neptunischen Gebilden rechnen dürfen. Die genauere Untersuchung der Versteinerungen hat Pflanzen- und Thiergeschlechter kennen gelehrt, welche jetzt nicht mehr vor-

handen sind, sondern untergegangenen organischen Welten angehören; je jünger aber die Gebilde sind, desto mehr erkennt man in ihren Versteinerungen die jetzigen Pflanzen und Thiere; es treten ferner die vollkommeneren Gattungen stets in dem Maß auf, als das Gebilde jüngeren Alters ist und weiter oben sich befindet; dagegen geht die Pflanzenwelt keineswegs der Thierwelt voran, Reste von beiden beginnen miteinander im Uebergangsgebirg. Umgekehrt ist also ein Gestein um so jünger, zu je höheren Pflanzen- und Thierklassen seine Versteinerungen gehören, das welches Knochen von Vögeln und Säugethieren führt, ist jünger als das wo blos Muscheln angetroffen werden. Ferner müssen Gebilde, welche in ihren Versteinerungen übereinstimmen, aus einerlei Zeit sein, und da man menschliche Spuren in keinem Gebilde antrifft über das Schwemmland hinaus, so glaubt man zu dem Schlusse berechtigt zu sein, daß der Mensch erst nach Ablauf der eine allgemeine Zerstörung mit sich bringenden geologischen Umwälzungen hervorgetreten sei, woraus wir nur nicht schließen möchten, daß nun überhaupt keine solche Umwälzung mehr bevorstehe oder möglich sei. Endlich ist noch der bedeutsame Umstand hervorzuheben, daß die Verbreitung der Versteinerungen auf andere klimatischen Verhältnisse der Erdoberfläche in der Vorzeit schließen läßt, sofern selbst in den Polarzonen Reste von Pflanzen und Thieren gefunden werden, welche jetzt niedereren Breiten, selbst nur den Tropenländern angehören, und dieß ist auch wenigstens für die Zeiten nicht zu verwundern, wo der Heerd der irdischen Eigenwärme der Oberfläche noch näher lag.

Die Versteinerungskunde ist jetzt ein eigener außerordentlich reichhaltiger Zweig der Naturgeschichte, welcher gleichsehr in Geologie und Anatomie spielt, und wir dürfen, wenn wir sie zum unorganischen Reich rechnen, eine vierte Provinz daraus machen, nämlich neben Atmosphärilien, Mineralien und Felsarten. Auch hier dürfen wir uns in keine Einzelnheiten einlassen, und da wir bei der flüchtigen Musterung der Gebilde ihren Versteinerungsgehalt im Allgemeinen be-

zeichnen werden, so bemerken wir hier nur, erstlich, daß versteinerte Meerthiere aller Art bis zu den Fischen besonders zahlreich sind von den älteren bis zu den neueren Schichten, indem einzelne Forscher von 1700 Arten fossiler Fische nach eigner Anschauung melden und ihre Anzahl wohl auf 8000 schätzen, wovon fast alle bis zu den Tertiärschichten von den jetztlebenden abweichen; zweitens, daß manche der untergegangenen Thier- und Pflanzengeschlechter durch Riesenhaftigkeit in ihrer Art sich auszeichnen, die baumartigen Farren und Schachtelhalme, die außerordentlich dicken und alten (gegen 800 Jahresringe) Laubholzstämme, die seltsamen Ungeheuer von Lurchen (Amphibien) aus der Gattung der Eidechsen und Krokodile (die Saurier), die riesenhaften Säugethiere nach Elephantenart (Mammuth, Dinotherium); endlich daß die Ueppigkeit der vorzeitlichen Pflanzenwelten die jetzige im höchsten Grad übertreffen mußte, wovon besonders die Steinkohlenlager Zeugniß geben, wobei wir als besondere Merkwürdigkeiten noch das vereinte Auftreten von Palmen und Nadelholz durch fast alle Gebilde hindurch und unter dem letzteren den Bernsteinbaum der Vorwelt mit seinem überschwenglichen Harzreichthum erwähnen.

Humboldt ist geneigt im Granit das älteste Gebilde, die eigentliche und allgemeine Grundlage zu erblicken, mit deren Erstarrung die Bildung der Erdrinde begann. Mit dieser Ansicht wird ebenso der bereits erwähnten entgegengetreten, wornach selbst der Granit ein gänzlich umgewandeltes Wassergebilde sein sollte, das dann eine anderweitige Grundlage voraussetzte, sowie derjenigen, wornach die Urgebirgsschiefer jenes feuerentsprossene Grundgebirg wären, welches vom Granit als dem erstausbrechenden Gestein durchsetzt worden sei, während wir in jenen Schiefern umgewandeltes Absatzgestein sehen. Damit stellen wir aber keineswegs zahlreiche Granitausbrüche noch bis zum Uebergangsgebirge in Abrede, wie sie wirklich vorhanden sind, denn die Ausbrüche eines und desselben Gesteins sind keineswegs auf eine einzige Epoche zu beschränken, sondern ohne Zweifel in langen Zeiträumen vor sich gegangen, denen

vergleichbar, durch welche die Ablagerungen eines und desselben Meeres andauerten. So ergießt sich ja auch dieselbe Lava seit Jahrtausenden aus unseren jetzigen Vulkanen; so zeigt sich in der That auch jüngerer Granit, der in Adern den älteren durchsetzt.

Zugleich erkennen wir im Granit und dem verwandten Syenit, der übrigens öfter von jenem durchsetzt wird, das erste (oberste) Feuergebilde, zuerst vollständig erstarrt und von da an nicht mehr ausgebrochen, sondern nur mit den darüber befindlichen Lagen gehoben. In der nach unten sich fortsetzenden Reihe der Feuergebilde, welche die Gruppe des Granits eröffnet, folgt alsdann als die nächste vielleicht die des Grünsteins (Trappgebilde) mit Diorit, Serpentin als einzelnen Felsarten der Gruppe, und die dritte ist alsdann jedenfalls die Gruppe des Porphyrs mit den verschiedenen Porphyrarten und Melaphyr. Da indeß die Gesteine der Grünsteingruppe nicht ebenso in größeren Massen auftreten, wie manche in ganzen Gebirgsmassen zu Tag gehenden Porphyre, und da unter diesen der granitartige Porphyr und der (besonders gangartig auftretende) Quarzporphyr vielmehr zunächst an den Granit sich anschließt (gemäß den von Humboldt aufgestellten Gruppen des Ausbruchsgesteins): so wird man eher entweder drei Gruppen unterscheiden, oder noch besser die Porphyre und Grünsteine in eine einzige geologische Gruppe zusammenfassen, mit den drei Unterabtheilungen Quarzporphyr und granitartiger Porphyr, Grünstein und Serpentin (Hypersthen, auch Dioritporphyr kommt in dieser Gruppe vor), endlich die übrigen Porphyre (Feldstein-, Albit-, Augitporphyr) und Melaphyr (schwarzer Porphyr und Mandelstein). Sofort stellt sich als entschieden jünger, somit als dritte Hauptgruppe die des Basalts und Trachyts heraus (in welche auch der Klingstein und Dolerit gehört); er durchsetzt die Gesteine der vorhergehenden Gruppen und alle Flötzgebilde bis zu den Tertiärschichten, so daß nur Schuttland und Schwemmland später ist als die Erhebung des Basalts; er bezeichnet die sogenannten altvulkanischen Gegenden, indem er vor dem

Diluvium die Rolle der jetzigen Vulkane spielte. Die jetzigen Vulkane bilden endlich mit ihren Laven die vierte Gruppe der Feuergebilde, auch Schutt- und Schwemmland durchsetzend; der in ihrer Masse selbst noch auftretende Trachyt mahnt an die nächstvorhergehende Gruppe, sowie die Berggestalten von dieser an den Karakter unserer Vulkane, die wir übrigens im vorigen Abschnitt sattsam betrachtet haben. Bezeichnend ist es endlich wie die Feuergebilde in dieser Reihenfolge an Menge und Masse abnehmen; natürlicherweise mußten diejenigen, deren Ausbruch in die Zeiten fällt, wo die Erdrinde noch dünner, der Verkehr mit dem Erdinneren noch viel reger war, nach größerem Maßstab auftreten, als die heutigen, wo „der Umstand, daß Europa nur noch vier Ausbruchöffnungen zeigt, die Abnahme des Verkehrs mit dem flüssigen Erdinneren hinreichend beurkundet.“ Uebrigens sind bereits viele der jüngsten Oeffnungen verstopft, die erloschenen Vulkane, während auch im laufenden Zeitraum nach geschichtlichem Zeugniß neue entstanden sind, die neuen Vulkane, worüber der vorige Abschnitt nähere Auskunft giebt.

Wir steigen jetzt vom Granit aufwärts durch die Reihenfolge der Wassergebilde. Je weiter unten und somit älter ein solches ist, desto weniger Spuren der organischen Welt enthält dasselbe, desto mehr hat es dagegen die umwandelnden Einflüsse der plutonischen Thätigkeit erfahren. Die unterste Gruppe des Schiefers besteht in der That gänzlich aus sogenanntem metamorphischem Gestein und ermangelt aller organischen Reste; sie umfaßt die sehr verbreiteten Gebilde des Gneißes, Glimmerschiefers (und Talkschiefers) und (Ur-) Thonschiefers. Mit Einschluß des Granits machen dieselben das sogenannte Urgebirg aus, als das geschichtete Urgebirg während der Granit das ungeschichtete Urgebirg ist. Von dem Beginn der neptunischen Thätigkeit zeugt auch, daß hier bereits in untergeordneten Lagern der Kalkstein beginnt (Urkalk). Auf die Schiefergruppe folgt die Gruppe der Grauwacke oder das Uebergangsgebirg, wo die neptunische Thätigkeit entschieden auftritt und die Versteinerungen begin-

nen, zunehmend nach den oberen Schichten; von Pflanzen, die verhältnißmäßig selten sind, finden sich in den unteren Schichten nur zellige Laubpflanzen des Meers (Seetang), in den oberen auch Farren, Bärlapp u. s. w., ohne aber die unterste Provinz des Pflanzenreichs (Kryptogamen, Akotylen) zu überschreiten; die Thierreste gehören ebenso dem niederen Gebiet an, Polypen, Weichthiere, doch auch schon Gliederthiere (Trilobiten, d. h. ausgestorbene assel- oder krebsartige Thiere) und selbst, obwohl selten, Fische in den obersten Schichten. Man unterscheidet untere und obere Grauwacke (silurische und devonische Schichten), erstere ist Grauwackenschiefer, der sich zunächst an den Urthonschiefer anschließt, letztere Grauwackensandstein (alter rother Sandstein), als das unterste Trümmergestein mit untergeordneten Lagern von Kalk (Dolomit und Gyps).

Häufig rechnet man auch noch den an der Gränze der Grauwacke auftretenden Kalkstein (Uebergangskalk) und das Steinkohlengebilde zum Uebergangsgebirg, um dann bald mit dem Rothliegenden, bald mit dem Zechstein (zwei Gebilden von geringerer Ausdehnung) die Reihe der Sekundärbildungen zu eröffnen. Wir folgen aber unserem Meister, indem wir die „eigentlich sogenannten Flözschichten“ mit dem Bergkalk beginnen, und diesen sammt den beiden folgenden Gebilden in die Gruppe der unteren Trias zusammenfassen, welche somit Bergkalk, Steinkohlengebirg (sammt Todt- oder Roth-Liegendem) und Zechstein begreift. Das wichtigste Gebilde dieser Gruppe, die Steinkohle, erinnert durch sich selbst an die gewaltigen Fortschritte, welche jetzt das Pflanzenleben gemacht hat, wenn sie auch nicht außer Farren und den hauptsächlichsten Pflanzen der zweiten Provinz (Monokotylen, nämlich Gräser, Lilien, Palmen), auch solche der dritten, namentlich Zapfenträger enthielte. Die auf nassem Weg gebildeten Kohlenmassen selbst glaubt Humboldt nicht nur den großen Baumstämmen, sondern zu einem beträchtlichen Theil auch außerordentlich dichten Wäldern von Kryptogamen (Farren, Schachtelhalmen), Gräsern und Laubkräutern zuschreiben zu müssen, „welche

die vorherrschende Pflanzendecke des noch ganz insulär gestalteten trockenen Landes bildeten". Das Steinkohlengebilde befindet sich zunächst über dem Bergkalk (Kohlenkalk), oft auch unmittelbar über der Grauwacke; es wechseln darin die einzelnen Kohlenflötze mit einem grauen Sandstein (Kohlensandstein) oder mit Schieferthon (Kohlenschiefer); über den Kohlenlagern befindet sich ein anderes grobes Trümmergestein, das Rothliegende oder Todtliegende (jener Name von der Farbe, dieser vom Mangel an Erz). Das dritte Hauptglied der Trias ist der Zechstein, ein Gebilde aus Schichten von Kalk und Mergelschiefer (bituminös, daher Stinkkalk, und kupferhaltig, daher Kupferschiefer, auch Gyps, schon mit dem denselben so häufig begleitenden Steinsalz, in den oberen Schichten enthaltend). Während die Fischreste in vermehrter Menge bei dieser Gruppe sich fortsetzen, beginnen die Lurchreste (namentlich die Saurier) im Zechsteingebilde.

Die vierte Gruppe ist die obere Trias, deren drei Hauptglieder von unten nach oben die Gebilde des bunten Sandsteins, des Muschelkalks und des Keupers sind, untergeordnete Glieder bilden Gyps und Steinsalz besonders im Keuper (einem Gebilde aus buntem Mergel und Sandstein) und Lettenkohle (ein Gemenge von Kalkstein, Sandstein, thoniger Kohle, Mergelschiefer), welches hin und wieder den Keuper vom Muschelkalk trennt. Außer dem Muschelkalk, den sein Name hinsichtlich der vorherrschenden Versteinerungen kennzeichnet, ist diese Gruppe an solchen verhältnißmäßig arm. Es folgt die (fünfte) Gruppe des Jura, wo die ersten Spuren von Säugthieren (eine Art Beutelthier) sich zeigen, überhaupt sehr reich an Versteinerungen (die Ammoniten und Belemniten, die meisten Saurier, wie die geflügelte Eidechse, Knochenhöhlen, Meerpflanzen in den unteren Schichten). Die Gruppe zerfällt in zwei Gebilde, von denen das untere Lias (schwarzer Jura), das obere Jura im engeren Sinn (weißer Jura, Oolith) heißt, nur eine untergeordnete Bildung ist der eisenhaltige braune Jura oder untere Oolith (Eisenrogenstein); das Hauptgestein der ganzen Gruppe ist Kalk,

es wechselt aber mit Dolomit, Mergel, Schieferthon und Sandstein. Die sechste und die letzte Gruppe der Sekundärgebirge (Flötzschichten im engeren Sinn) ist die Kreidegruppe, so genannt nach ihrem Hauptglied, der Kreide, der besonderen Form des kohlensauren Kalks, welche ihr Dasein der mikroskopischen Thierwelt verdankt, gleichwie das Hauptglied der ersten Flötzgruppe ihr Dasein aus der Pflanzenwelt herleitet; es ist daher auch bezeichnend, daß der Feuerstein, der aus Infusorienpanzern bestehende Kiesel, die Kreide stets in Nestern begleitet. Man unterscheidet in der Gruppe zwei bis drei Hauptglieder, das unterste bildet ein Sandstein (Grünsand von der Färbung in England, Quadersandstein von der Zerklüftung in Deütschland genannt), worauf die untere und obere Kreide folgt, oder der härtere graue Kreidemergel (mit Thongehalt und Quarzadern) und die weiche weiße Kreide (mit ihren Feuersteinnestern). Die Kreidegruppe ist sehr reich an Versteinerungen, der erste Vogel tritt mit Landpflanzen in den unteren Kreideschichten auf, die oberen enthalten zahlreiche Meerthiere. Uebrigens wird von manchen Schriftstellern das Vorkommen von Säugthier- und Vögelresten abwärts von der Kreidegruppe (einschließlich) an bestritten, während Humboldt als untere Gränze für die Vögel die Kreide, für die Säugthiere den Jura angiebt.

Vom Kohlengebilde bis zur Kreidebildung weicht die Pflanzenwelt noch gänzlich von der jetzigen ab, erst in der folgenden siebenten Gruppe und zwar in ihren oberen Schichten tritt sie der heutigen näher, indem plötzlich unsere Fichten und Tannen, Ahorne und Pappeln erscheinen. Es ist die Gruppe des Tertiärgebirgs oder nach einem ihr angehörigen Sandsteingebilde (mit dessen Schweizernamen) die Molassegruppe. Die Hauptglieder sind Grobkalk (das untere) und Molasse (das obere), ein grober lockerer Sandstein, häufig ein Kittgestein von bloßen Geschieben (Nagelfluh, Subappenninengerölle), beide enthalten Braunkohlenschichten, die als drittes Glied der Gruppe zu betrachten sind, und wohlerhaltene Pflanzentheile, selbst Früchte, sowie Riesenstämme, Bernstein mit ein-

geschlossenen Insekten führen. Es sind theils Meeres-, theils bereits Süßwasserbildungen, welche sich durch ihre Versteinerungen kennzeichnen; die Säugthiere treten hier zahlreich auf, worunter solche aus den Zünften der Dickhäuter, der Hirsche und Hyänen. Die achte Gruppe endlich enthält das Schuttland (das Aufgeschwemmte oder die Diluvialgebilde), die Ergebnisse der letzten großen Umwälzung, die nach weitverbreiteten Ueberschwemmungen mit der gegenwärtigen Vertheilung von Wasser und Land endete, und anhänglich die noch jetzt fortgehenden Ablagerungen der Meere, Flüsse und Quellen (Strandbildungen, Süßwasserbildungen, Gletscherbildungen, Bildungen durch Verwitterung und Regen), welche wir im vorigen Abschnitt bereits betrachtet haben, und die man unter dem Namen des Schwemmlands (Angeschwemmtes, Alluvium) begreift, aber kaum als eine „neunte Gruppe jüngster Bildungen“ aufzählen kann. Das Schuttland erreicht noch eine Mächtigkeit von ein paar hundert Fuß und besteht aus Ablagerungen von Lehm, Thon, Mergel, Sand, Geröllbildungen, Conglomeraten und Tuffen, Gebirgsschutt und losen Felsblöcken (die erratischen Blöcke haben wir als eine Wirkung der Diluvialfluthen erkannt). In ihm finden sich die letzten Reste vorweltlicher Thiere (darunter die berühmten schon erwähnten Riesensäugthiere, Mammuthe, Mastodonten u. s. w.), aber auch bereits fossile Reste jetzt lebender Thiere (Knochenhöhlen), während das Angeschwemmte nur solche, sowie auch menschliche Reste enthält.

Der hiemit entwickelten Reihenfolge der Erdgebilde liegen vorzugsweise die Erfahrungen in Europa und hier wiederum in Mitteleuropa zu Grund, weßhalb sie auch die mitteleuropäische Folge heißt. Nicht überall folgen sich die Gebilde vollständig, selbst nicht die Hauptgebilde; hauptsächlich fehlen häufig mehrere der oberen Wasserbildungen, indem bald dieses bald jenes der älteren Gebilde zu Tag geht oder zunächst unter den jüngsten Bildungen unseres Zeitraums (Dammerde) sich befindet. Dieß deutet darauf hin, daß solche Landesräume bereits soweit gehoben waren, um von den Wassern

nicht wieder bedeckt zu werden, welche anderwärts die weiter folgenden Schichten absetzten. Man kennt von mehreren, zumal der oberen Gebilde, ihre Mächtigkeit stellenweise genau, man hat aber auch Schätzungen über diejenigen gewagt, denen die Anschauung nicht beikommen kann, theils aus den geneigten Lagen der Gebilde, theils aus den Höhen der Berge und Hochplatten. Es läßt sich im Voraus erwarten, daß die Mächtigkeit nach unten zunimmt, und so kommen nach jenen Schätzungen von den 50000 Fuß (1/400 des Erdhalbmessers), auf die man die mittlere Mächtigkeit (bis zum Granit einschließlich?) anschlägt, etwa 1000 auf die jüngeren Gebilde, 5000 auf das Flötzgebirge, 10000 auf das Uebergangsgebirge, der Rest mit etwa 34000 Fuß auf das Urgebirge (wobei aber auf den Granit nur 3000, dagegen 20000 auf den Gneiß gerechnet sind?). Wenn wir das Letztere auffallend finden, so ist auch zu bedenken, „daß es sehr in Frage steht, ob bei den räthselhaften Gebilden des Urgebirgs der senkrechte Abstand zwischen den breitesten Flächen wirklich ihre wahre Mächtigkeit messe", worauf nämlich jene Berechnungen sich gründen.

In den Schichten, deren Gefüge die jetzige Erdrinde bildet, bewegt sich die Geschichte der Erde; die Neigungen, Krümmungen und Durchsetzungen dieser Schichten, die Krystalle, Erze und Versteinerungen, welche sie führen, sind die Urkunden für eine Reihe von Umwälzungen, von mineralbildenden Hergängen, großentheils der chemischen Werkstätte des Menschen fremd, von organischen Welten, deren Geschlechter zum großen Theil nicht wiedergekehrt sind. Im zehnten Abschnitt haben wir die Erde mit eben erstarrender Kruste verlassen, als noch alles Wasser mit den in ihm aufgelösten salzigen und erdigen Stoffen in der ungeheuren Uratmosphäre verflüchtigt war. Nach gehöriger Erdickung und Erkaltung der ersten Kruste, die aus den schwerstschmelzbaren Stoffen bestehen und bereits in Folge von Fluth-Ebbe, sowie von Verschiebungen beim allmäligen ersten Erstarren Unebenheiten enthalten mußte, begann der Niederschlag des Wassers und damit die gedoppelte Wirksamkeit von Wasser und Feuer. Es eröffnet sich eine Folge

von Umwälzungen, die in Wasserbedeckungen mit Ablagerung und Ausrodung, und in plutonischen Rückwirkungen mit Ausbrüchen, mit Hebungen und Senkungen fortschreiten, getrennt durch lange Zeiträume der Ruhe und organischen Thätigkeit, in welchen sofort die lebendige Welt sich entwickelt, nach Art des jetzigen Zeitraums, der weiter zurückreicht als die Erinnerung der Menschheit, da man den Sündfluthsagen der Völker gewiß nur die Bedeutung dichtender Theorien beilegen kann.

Wie die geologischen Mächte bei den Umwälzungen der Erdrinde zusammenspielten, davon können wir uns wohl eine ungefähre Vorstellung machen. Das durch Spalten und Risse der Kruste eindringende Wasser verwandelt sich in Dampf und veranlaßt die Rückwirkung von innen, Ausbrüche und Unebenheiten; durch solche verändert sich der Stand der Gewässer und diese erhalten neuen Stoff zur Gesteinsbildung durch die Zerstörungen der alten Gesteine. Allein sehr verschieden muß es bei den älteren und jüngeren dieser Umwälzungen zugegangen sein, denn anfangs war der Verkehr mit dem Inneren reger, die Unebenheiten noch gering, und es fand eine minder tiefe, aber allverbreitete Wasserbedeckung statt, während weiterhin durch die vorangegangenen Hebungen eine Menge trocken gelegter Landesräume vorhanden waren. Ohne Zweifel haben dieselben und ebenmäßig die Wasserbehälter in den früheren Bildungszeiten vielfach gewechselt, wasserbedeckte Räume mochten sich zu wiederholten Malen heben, trockengelegte senken, und damit das Wasser von jenen in diese sich ergießen. Erst als mit gehöriger Erdickung die Erdrinde gleichsam erstarkte, und mit dem Verwachsen der Oeffnungen die plutonische Wirksamkeit sozusagen auf vereinzelte Stellen sich zurückzog, konnte die Vertheilung von Land und Meer mehr Beständigkeit gewinnen, und das bis dahin hervorgehobene Land bleibend von den Meeresbecken sich sondern.

Es ist schwer, sich eine Vorstellung von der Vertheilung von Land und Meer in früheren Epochen der Erdgeschichte zu machen, und somit von der allmäligen Entste-

hung des Festlands nach wagrechter Ausbreitung wie nach senkrechter Erhebung. Nur soviel steht uns im Allgemeinen fest, daß unter vielen Schwankungen die Erdfesten aus inselhafter Zersplitterung gleichsam zusammengewachsen sind, und zwar durch eine Folge von plutonischen Hebungen, wobei Ausfüllungen kleinerer Becken durch Ablagerungen, sowie entgegengesetzt Durchbrüche des Meers durch schmalere Landstrecken mitgespielt haben mögen. Die Anhaltspunkte für solche Fragen der Erdgeschichte sind theils die Alterskennzeichen, die man für die Hebung der Gebirge hat, theils die Umrisse der einzelnen Gebilde, sofern sich dieselben gleichzeitig unter einer und derselben Wasserbedeckung niedergeschlagen haben. So wäre also z. B. die Gränze des Jurameers durch den Umriß des Juragebildes bezeichnet und damit die damalige Abgränzung von Land und Meer; allein man bemerkt nicht nur, daß das Ausbleiben einer Ablagerung auch andere Ursachen haben könne, als das Trockenliegen des Bodens zur Zeit ihrer Bildung aus dem damaligen Meer, sondern auch daß man die Umrisse der Gebilde nicht gehörig kennt, wo sie von anderen überlagert sind. Was aber die Altersbestimmung der Gebirge betrifft, so kann man einmal von dem Fehlen gewisser Schichten auf dem Rücken, die am Abhang und in der Umgebung vorkommen, auf die Zeit schließen, wo es bereits inselförmig hervorragte, die Zeit seiner ersten Hebung, ebenso aus der Neigung der umgebenden Gebilde auf die Zeit der letzten Hebung, indem diese jünger sein muß als das jüngste unter jenen in eine steile Stellung gebrachten Gebilden. Wenn man aber ferner noch aus dem Parallellaufen verschiedener Gebirge auf gleichzeitige Hebung schließen zu dürfen geglaubt und sofort ein ausgesponnenes Altersverzeichniß der Gebirge nach ihren Streichungsrichtungen entworfen hat, so möchte hier manches mehr bittweise angenommen als erwiesen sein. Eine bemerkenswerthe Thatsache aber ist es, daß gerade die mächtigsten Gebirge (wie die Alpen, Anden) zuletzt in ihre endliche Stellung gehoben worden sind, womit dann auch erst die letztliche Gestaltung der ganzen Land-

festen gegeben war, die sich gleichsam an sie anlehnen; nur darf man dabei nicht übersehen, daß bei diesen, wie ohne Zweifel bei jedem größeren Gebirgssystem, wiederholte durch lange Zeiträume getrennte Hebungen im Spiel waren, und daß es sich bei jenem Satz nur sozusagen um den letzten Ruck handeln kann.

Da man die geognostischen Gebilde vornehmlich nur in Europa näher kennt, so beschränken sich die Bilder, die man sich nach geognostischen Verhältnissen von der älteren Vertheilung von Land und Meer entworfen hat, hauptsächlich auf unseren Welttheil; wir behalten es aber dem nächsten Abschnitt vor, der jetzigen Gliederung der Erdoberfläche die Rückblicke gegenüberzustellen, welche die Geologen in Betreff der allmäligen Entstehung des europäischen Festlands gewagt haben. Desgleichen kann man von einzelnen kleineren Länderstrecken, deren geognostischer Bau genau bekannt ist, eine Geschichte der Umwälzungen unternehmen, welche etwa ihrem jetzigen Zustand vorangehen mußten, und wir verweisen in dieser Hinsicht beispielsweise auf die preiswürdige natürliche Geographie Württembergs von Schwarz, wo nach der Folge der zu Tag gehenden Gebilde von Westen nach Osten, welche zugleich die von unten nach oben ist (mit den bekannten Hauptgliedern: Granit-Gneiß, bunter Sandstein, Muschelkalk, Keuper, Lias, Jura, Molasse), und nach ihren jetzigen beziehungsweisen Meershöhen auf die Geschichte der dazu erforderlichen Hebungen, Wasserfluthen und Niederschläge geschlossen wird. Wir haben hier zugleich ein Beispiel, wo das Uebergangsgebirg sowie die untere Trias und die Porphyrhebung bis auf wenige Spuren fehlt, desgleichen unter den jüngeren Bildungen die der Kreide fast ganz, während von der Basalthebung mehreres vorhanden ist.

So wenden wir uns nunmehr zu dem allgemeinen Bild der Erdoberfläche, welches sie in dem jetzigen Zustand der Ruhe darbietet, nach Land, Meer und Luft, nach Erwärmung und Belebung. Dieser jetzige Zeitraum beginnt nach den letzten weitverbreiteten Hebungen und der dadurch veranlaßten

unter dem Namen des Diluviums bekannten letzten größeren Wasserbedeckung, ein Zeitraum, von welchem die sogenannte geschichtliche Zeit der Menschheit einen Theil ausmacht, die Allem nach erst nach jener letzten großen Umwälzung hervorgetreten ist. Wenn nun gleich die vorangeschrittene Erdickung der Erdrinde, die Sonderung der Oberfläche in mächtige Festen und Meeresbecken, die Zurückdrängung der vulkanischen Thätigkeit auf verhältnißmäßig wenige und kleine Räume jenen Ruhestand als dauerhafter erscheinen lassen möchte: so haben wir darin doch so wenig als im Vorhandensein des Menschen eine wirkliche Gewähr für die Unmöglichkeit neuer Umwälzungen oder dafür, daß dieser Zeitraum der Ruhe nicht auch gleich den früheren ein vorübergehender sein sollte, daß die Entwicklung des Planeten es nicht etwa mit sich bringen könnte, den jetzigen Meersboden zu neuem Festland zu erheben, und das alte Festland zu versenken.

Viertes Buch.

Die jetzige Erdoberfläche.

---

nach oben und obere Gränze der veränderlichen Temperatur. — Klimatische Verhältnisse der Erdoberfläche, Gang, Spielraum und Mittel der Wärme in den unteren Luftschichten; die verschiedenen Klimate, Isothermen und Schneelinien, Breitezonen und Höhenregionen; Temperaturäußerste, vorübergehende Störungen der Wärmevertheilung an der Erdfläche, Veränderungen des Klima (vorzeitliche Klimate).

XVI. **Leben und Geist.** — Die organische Welt mit ihren Stoffen und Geweben, Organen und Kräften. — Die beiden Reiche mit ihren Provinzen und Klassen (natürliche und künstliche Systeme). — Verbreitung der Pflanzen und Thiere an der Erdoberfläche (Geographie der Organismen); botanische und zoologische Gebiete, Aequatorial- und Polargränzen. — Der Mensch Eine (Säugthier-) Gattung, Rassen und Stämme; die Erdoberfläche unter dem Einfluß der Menschheit; Verhältniß des Einzelwesens zur Gattung (Genius).

XIII.

Land und Wasser.

Indem wir uns jetzt anschicken, der Außenfläche unseres Planeten den Rest unserer Aufmerksamkeit zuzuwenden, beginnen wir mit den äußeren Umrissen der festen Erdrinde, von deren innerem Gefüge wir herkommen. Der größere Theil des Erdbodens aber (fast drei Viertheile) ist unserem Anblick entzogen, indem Einsenkungen, deren ungeheurer Ausdehnung vielleicht eine entsprechende Tiefe zur Seite steht, mit Wasser bedeckt sind, dessen Grund nur an den seichteren Stellen erreicht ist, Einsenkungen, denen gegenüber auch die Niederungen des Landes, welche sich wenig über den Meeresspiegel erheben, als wahre Hochflächen erscheinen. Wir haben daher zuvörderst auf die allgemeine Vertheilung von Land und Meer unser Augenmerk zu richten, um, wenn auch ihre Ursachen (nicht im Allgemeinen, denn der Form nach haben wir sie kennen gelernt, sondern im Einzelnen, warum gerade so und nicht anders) gänzlich zum Unzugänglichen der Natur gehören, doch die bezeichnenden Verhältnisse, gleichsam den Plan dieser Gliederung herauszustellen. Wir wenden uns alsdann zur Betrachtung des in seiner Starrheit so mannigfaltigen Landes und des in seiner Einförmigkeit so beweglichen Meers, um dort die wagrechte und senkrechte Gliederung des Landes nach den Hauptformen, die es darbietet, und nach den kennzeichnend zu besonderen Ganzen gestempelten Landesräumen (die Landesindividuen) in Uebersicht zu nehmen, hier die beständigen und wandelbaren Verhältnisse der großen Wasserbecken.

Das Meer bildet eine zusammenhängende Wasserfläche bis auf einige kleinere ganz von Land eingeschlossene Meeresbecken, die wahrscheinlich Rückstände vorgeschichtlicher Meeresüberschwemmungen sind, und, obwohl unter den landläufigen Begriff der Seen fallend, doch von denjenigen Seen wohl zu unterscheiden sind, welche sich als Glieder der Flußsysteme herausstellen. Indeß ist unter diesen Binnenmeeren im engsten Sinn hauptsächlich nur das kaspische Meer hervorzuheben, das in einer großen binnenländischen Erdsenke bedeutend unter dem Meeresspiegel liegt, und in früheren Zeiten nicht nur den Aralsee mitbefaßte, sondern auch über einen großen Theil des centralen Tieflands, wo Europa und Asien ohne bestimmte Gränze in einander übergehen, sich erstreckte, ja wahrscheinlich selbst mit dem schwarzen Meer zusammenhing, während damals der Bosporus noch nicht vorhanden war. Aus dem Weltmeer aber ragt der feste Erdboden in einer Unzahl von kleineren und größeren Inseln an die Luft hervor, besonders aber in zwei mächtigen zusammenhängenden Landmassen, der östlichen Landfeste oder der alten Welt, und der westlichen Landfeste oder der neuen Welt. Im Norden nähern sich beide Landfesten einander bedeutend, so daß auf der einen Seite nur eine Meerenge Amerika von Asien trennt, und überdieß eine Inselkette (die Aleuten) vom einen zum anderen Welttheil zieht, auf der anderen allerdings eine breitere Meeresfläche Amerika von Europa scheidet; indeß ist, außerdem daß hier noch eine beträchtliche Insel (Island) als ein Mittelglied zwischen Europa und Amerika sich befindet, die Ausdehnung dieses Meeres im Vergleich mit den weithingestreckten Nordküsten des Landes gering genug, um das den Nordpol zunächst umgebende Eismeer nur als ein mächtiges Binnenmeer zu betrachten, umgeben von dem eisigen Kranz der Polarländer. In diesen giebt es daher keinen Gegensatz des Ostens und Westens, wir sehen eine Natur bis zum Menschenschlag hüben und drüben.

Ganz anders im Süden. Hier ist die Erde ringsum von dem offensten ihrer Oceane umgeben, von der allmälig ins

südliche Eismeer übergehenden Südsee. In diese ragen die Südenden beider Landfesten mehr oder weniger weit hinein, indem sie sich zugleich mehr oder weniger zuspitzen, und von ihr aus erstrecken sich die großen Becken des stillen und des atlantischen Meers, beide Landfesten trennend, bis zum Nordpolarmeer. Das eine, das atlantische Meer, ist inselleer; man hat es eine riesenhafte Thalbildung zwischen beiden Kontinenten genannt, weil den Landesauswölbungen auf der einen Seite die Meereseinschnitte auf der anderen gegenüberliegen; dagegen breitet sich in der ungleich weiteren Fläche des stillen Meers innerhalb der Tropenzone die ausgedehnteste Inselflur der Erde vom östlichen Kontinent gegen den westlichen hin aus. Ob aber die Südsee bis zum Südpol sich erstrecke, oder ob dieser zunächst von einer sei es zusammenhängenden oder stellenweise durchbrochenen Masse Landes, einem besonderen Südkontinent, umgeben sei, ist eine noch schwebende Frage. Allerdings würde dieß den Gegensatz zwischen dem Norden und Süden der Erde vollenden; dort nämlich, im Norden, die breitesten Landmassen, die ein Meeresbecken nahezu einschließen, hier dagegen, im Süden, ringsherum die breiteste Weltmeerfläche, die eine gänzlich abgetrennte Landfeste bespülen würde. Man hielt in früheren Zeiten das Vorhandensein eines solchen Südkontinents für nothwendig zu dem sogenannten Gleichgewicht der Erde, d. h. wohl dafür, daß der Schwerpunkt der Erde mit ihrem Mittelpunkt zusammenfalle; dieß haben wir auch im zweiten Abschnitt als wirklich (wenigstens sehr nahezu) vorhanden erkannt, allein es könnte ja auch dadurch hervorgebracht werden, daß im Inneren der südlichen Halbkugel dichtere Massen sich befänden, eine ungleiche Vertheilung der Dichtigkeit, welche wir, wenn auch nicht nach beträchtlichem Maßstab, ebendaselbst als nothwendig vorhanden bezeichnen mußten. Uebrigens ist man in neueren Zeiten aus Gründen der Erfahrung auf den Gedanken an die Südfeste zurückgekommen, weil die Seefahrer von verschiedenen Seiten her, von der südamerikanischen wie von der afrikanischen und australischen, weitgedehnte Küstenstrecken ent-

deckt haben. Freilich weiß man zur Zeit über ihren Umfang noch weniger, als über den der vielen und großen Inseln, deren Masse im Nordosten von Amerika fast mit denen im Südosten von Asien wetteifert, während die nördliche Küste des amerikanischen Festlands neuerdings vollständig bekannt geworden ist (die nordwestliche Durchfahrt).

Dieß wäre der erste Schritt in der Gliederung der Erdoberfläche, welche zu den beiden Landfesten und zu dem hervorstechenden Gegensatz zwischen dem Norden und Süden der Erde geführt hat. Der zweite betrifft nun die Gliederung der beiden großen Landfesten und führt zur Unterscheidung der sogenannten Erd- oder Welttheile, sowie zu dem zweiten großen Gegensatz, dem Gegensatz des Ostens und Westens, zugleich den ersten vervollständigend.

Der größere Ostkontinent ist auch in jeder Beziehung mannigfaltiger gegliedert; er zerfällt in vier Welttheile, Asien, Europa, Afrika und Australien, durch zwei große Zwischenmeere oder Mittelmeere, das innnere oder das Mittelmeer schlechtweg zwischen Europa, Afrika und Asien, das zum atlantischen Ocean bei Gibraltar durchbricht und dessen nordöstliche Seitenbecken (vom ägeischen bis zum schwarzen Meer) die Meeresgränze zwischen Europa und Asien bilden, und das weit größere äußere Mittelmeer, das oceanhafte indische Meer, zwischen Afrika, Australien und Asien, dieser mächtige Busen, mit welchem die Südsee in die Ostfeste eindringt, dessen nordwestliche Seitenbecken (Golf von Aden, rothes Meer) die Meeresgränze zwischen Afrika und Asien bilden. Zwar bilden zunächst nur die drei ersten der genannten Welttheile eine ganz ununterbrochene Landmasse, während Australien eine große Insel oder eine eigene kleine Landfeste ist, allein wir werden sie ihrer Lage gemäß auch als ein, nur abgetrenntes Glied des Ostkontinents betrachten dürfen, ja müssen. Denn die Südspitze des zusammenhängenden Asiens selbst ist zwar durch einen weiten Zwischenraum vom Norden Australiens getrennt, allein dieser Raum ist von dem mächtigsten Haufen großer Inseln angefüllt, der sich auf der Erde findet, und ein Theil

dieser Inseln bildet gleichsam nur eine mehrfach durchbrochene Landenge, welche als Fortsetzung der langgestreckten Halbinsel Malakka auf das südöstliche Glied unserer Landfeste hinweist. Könnte nun hier die Trennung fast zu groß erscheinen, um Australien noch als ein Glied des Ostkontinents zu betrachten, so könnte man sie gegentheilig bei Europa für zu gering halten, um in diesem nicht sowohl einen eigenen Welttheil, als vielmehr ein großes Halbinselglied von Asien zu sehen, weil nämlich das kleine Europa auf eine so weite Strecke mit Asien verwachsen ist, an deren südlichem Ende in der That gar keine Gränze beider Erdtheile vorhanden ist. Gleichwohl stellt sich Europa aufs entschiedenste als selbständiges Glied der Ostfeste heraus, schon dadurch, daß es selbst wieder eine so reiche und eigenthümliche Gliederung darbietet, ja die vollkommenste der Erde in jeder Hinsicht, vollends aber durch die gänzliche Verschiedenheit seiner Naturverhältnisse von denen Asiens. Dagegen erscheint das große Afrika nach seinen äußeren Umrissen am deutlichsten zu einem eigenen Welttheil gestaltet, da es mit Asien zusammenhängt, aber nur durch eine Landenge. Asien selbst aber bildet nicht nur die größte Masse Landes in der östlichen Landfeste, sondern erscheint auch als deren Grundstock, indem es sich sozusagen zu den übrigen Gliedern derselben, ja selbst zum Westkontinent in unverkennbaren Uebergangsformen entwickelt, so daß man das Tschuktschenland mit Kamtschatka als das amerikanische, Malakka mit dem ostindischen Archipel als das australische, Arabien als das afrikanische, und Kleinasien sowie die kaukasische Landenge als die europäischen Glieder von Asien, gleichsam als asiatische Vorbildungen dieser anderen Welttheile nicht mit Unrecht betrachtet hat.

Viel einfacher ist der Bau der westlichen Landfeste. Sie gliedert sich nur in zwei selbständige Glieder oder Erdtheile, Nord- und Süd-Amerika, die durch eine langgestreckte Landenge zusammenhängen, und zwischen beiden dehnt sich das Mittelmeer der neuen Welt aus, das westindische Meer,

welches aber nur durch die in einem weiten Bogen von Südamerika nach Nordamerika sich erstreckende Inselflur Westindien vom offenen atlantischen Ocean geschieden ist. Aber nicht nur durch die Anzahl der Glieder ist der Bau des Westkontinents einfacher, sondern auch dadurch, daß die beiden Amerika in Vergleichung mit einander viel gleichartiger und gleichmäßiger gebaut sind, als die Welttheile des Ostens, wo die beiden südlichen von den beiden nördlichen reich gegliederten durch ihre Einförmigkeit, Afrika und Asien wiederum von den beiden anderen durch den riesenhaften Maßstab ihrer Formen sich unterscheiden, indem sie überhaupt die beiden gewaltigsten Hochlandsmassen der ganzen Erde darbieten. Dagegen stehen in beiden Landfesten die südlichen Glieder, oder alle drei südlichen Erdtheile stehen den nördlichen durch ihre sich gleichsam in das Weltmeer verlierende Lage, ihren Mangel an wagrechter Gliederung und die Einfachheit ihrer senkrechten Gliederung gegenüber. Der auffallendste Gegensatz zwischen der westlichen und östlichen Landfeste tritt endlich in dem allgemeinen Gepräge ihrer Gliederung hervor, wenn wir die senkrechte mit berücksichtigen. Im Allgemeinen haben nämlich im Ostkontinent die Hauptanschwellungen des Landes die Richtung Ostwest; Hoch und Nieder ist vorherrschend zwischen dem Norden und Süden vertheilt; die entschiedensten und bedeutendsten Glieder finden sich deßgleichen als Inseln und Halbinseln im Norden und Süden angesetzt. Im Westkontinent dagegen befolgt die Hauptanschwellung des Landes die Richtung Südnord, längs der ganzen Westküste der beiden Amerika hin; am Ostfuß derselben dehnen sich große Niederungen aus, die sofort an den Ostküsten theilweise mit kleineren Gebirgsländern sozusagen verbrämt sind; die spärlichen Halbinsel- und Inselglieder befinden sich deßgleichen in Osten und Westen. Während endlich die riesenhaften Ebenen des Ostkontinents, Hochländer wie Tiefländer, meist durch Armuth an Wasser und Pflanzenwuchs unanbaubar sind (die Sandwüsten und Salzsteppen), sind die nicht minder ausgedehnten Tiefländer des Westkontinents häufig durch Uebermaß an Wasser und Pflanzen-

wuchs in demselben Schicksal, wahre Wildnisse (die Urwälder, Grasmeere).

So scheint sich die Gliederung des Festlands in sechs Welttheile und der Gegensatz des Ostens und Westens naturgetreu und ungezwungen herauszustellen. Wir dürfen dem gegenüber die bekannte geographische Phantasie von drei Doppelerdtheilen nicht ganz mit Stillschweigen übergehen, weil so manche Geographen darauf einen Werth gelegt haben, der ihr in der That nicht zukommt. Vielmehr ist es ein bloßes Spiel zu nennen, wobei der Wirklichkeit Zwang angethan wird, wenn man die sechs Erdtheile wiederum in drei Doppelerdtheile zusammenfassen will, welche nach dem Muster von Amerika je aus einem südlichen und einem nördlichen Gliede bestünden. Die beiden Doppelerdtheile seien nämlich, sagt man, auf der östlichen Halbkugel zusammengewachsen; der eine bestehe aus Europa sammt Vorderasien als nördlichem und aus Afrika als südlichem Glied, verbunden durch die Landenge von Suez; bei dem anderen sei Hinterasien das nördliche und Australien das südliche Glied, die verbindende Landenge dagegen die Halbinsel Malakka mit der daran sich anschließenden Kette der Sundainseln. Man findet es dann noch als höchst bezeichnend, daß je auf der einen Seite der Landenge eine Halbinsel, auf der anderen ein Archipel sich befinde, bei Amerika nämlich Kalifornien und Westindien, bei Europa-Afrika Arabien und der griechische Archipel, bei Hinterasien-Australien endlich Vorderindien und der indische Archipel. Allein selbst wenn man einen vorgeschichtlichen Zustand zu Hilfe nimmt, wo der Bosporus noch geschlossen gewesen sei, und das Nordpolarmeer einen mächtigen Busen über ganz Westsibirien und Turan bis zum kaspischen und schwarzen Meer herein gebildet habe: selbst dann kann diese Vorstellung keineswegs naturgemäß, geschweige denn als der eigentliche Plan (Typus) der Erdbildung erscheinen, vielmehr erkünstelt sie lediglich Aehnlichkeiten mit der natürlichen und geschichtlichen Einheit der beiden Amerika da, wo diese Einheit durchaus fehlt.

Weit eher noch könnte man eine Einheit bei Asien und

Europa finden, und dann in dem ganz auf der nördlichen Halbkugel von Ost nach West sich entwickelnden Doppelerdtheil Asien-Europa nur freilich kein Seitenstück, vielmehr ein vollendetes Gegenstück zu dem Doppelerdtheil Amerika erblicken. In der That läßt sich durch jene beiden Welttheile eine gemeinsame Hauptaxe der Anschwellung von den Gestaden des großen Oceans (dem südchinesischen Gebirg) bis zum Kap Finisterre in Spanien verfolgen, welche ihre ähnlich gelagerten größten Hochgebirge, den Himalaya und die Alpen, enthält. Im Süden dringen die beiden großen Mittelmeere der Ostfeste ein und schneiden auf ebenmäßige Weise in jedem der beiden Welttheile drei mächtige Halbinseln aus, große selbständige Glieder des Landes, wie sie sonst nirgends auf der Erde vorkommen. Im Norden endlich liegen die großen Tiefländer der beiden Erdtheile, das sibirische im Nordwesten Asiens und das russische im Nordosten Europas, mit einander zusammenhängend an der Erdsenke des kaspischen Meers, und in einer langen Strecke durch das inselartig daraus aufsteigende Uralgebirge getrennt. Ueber diesem Gemeinsamen darf man aber nie die Grundverschiedenheit in der Art und dem Maßstab der Gliederung übersehen.

Es wäre ein vergebliches Unterfangen, in den geologischen Umwälzungen die Ursachen nachweisen zu wollen, vermöge deren die allgemeine Gliederung der Erdoberfläche gerade so, und nicht anders erfolgt ist, mit diesen Gegensätzen zwischen Norden und Süden, zwischen Osten und Westen. Es wird schon schwer halten, die Altersfolge zu bestimmen, in welcher diese Haupttheile des Landes gehoben und trocken gelegt worden sind, oder zu unterscheiden, was in der Verbindung und Trennung der Landmassen von plutonischen Hebungen oder von neptunischen Zertrümmerungen herrührt. Nur einzelnes kann in dieser Beziehung mit Wahrscheinlichkeit behauptet werden, dergleichen wir schon in den vorhergehenden Abschnitten erwähnt haben. Auch fehlen die geognostischen Thatsachen aus den anderen Welttheilen noch zu sehr, um eine Bildungsgeschichte der gesammten Landfesten auch nur annähernd

zu entwerfen. Was man von diesem Theil der Erdgeschichte weiter ausspinnen könnte, beschränkt sich vornehmlich auf Europa, wo die geognostischen Gebilde näher bekannt sind. Wir führen hier noch die Grundzüge, welche sich in dieser Beziehung aus geognostischen Gründen ergeben haben, wörtlich nach Studer an.

„Erstlich, zu Ende der Uebergangszeit wurde ein großer Theil von Nordeuropa und Nordamerika trocken gelegt und ist seither vom Meere nicht wieder bedeckt worden; als drei große Inseln erhoben sich im Westen des europäischen Festlands, Westengland, Bretagne und Pyrenäen; das Vorherrschen des Landes in der nördlichen Halbkugel scheint demnach in die ältesten Zeiten zurückzugehen; die Ablagerungen im östlichen Europa blieben meist wagrecht und erlitten keine oder nur beschränktere metamorphische Einwirkungen. Zweitens, nach Ablagerung der älteren Flötzgebilde in den zurückgebliebenen oder durch Einsenkung neu entstandenen Meeren fanden beschränktere Hebungen statt in England, im mittleren Deutschland, in der Umgebung der Vogesen, in Südostfrankreich, in größerer Ausdehnung hob sich der Boden im östlichen Rußland; ein großer Theil von Europa blieb von dem Jurameer bedeckt, in welchem das norddeutsche Hochland drei große Landzungen bildete, eine nördliche bis Valenciennes und zwei südliche da, wo sich jetzt die Vogesen und der Schwarzwald erheben. Drittens, am Schluß des Jurazeitraums gewann das Land, das früher im westlichen England sich erhoben hatte, neue Ausdehnung nach Osten hin, und dieser Streif von Jurageſteinen dehnte sich auch längs dem östlichen Abfall der in der Bretagne aufgestiegenen Massen tief nach Frankreich hinein aus und umzog die Gegend von Paris als eine weite Bucht; über Lothringen und die Freigrafschaft vereinigte sich dieser Landstrich mit der gleichzeitig in Süddeutschland trockengelegten Masse und trennte bis an die Gränzen von Rußland das nördliche Kreidemeer von dem südlichen, das sich über den größten Theil von Südeuropa bis tief nach Afrika hinein verbreitete und mit dem indischen Meer in Verbindung

stand. Viertens, die Küstenlinie dieses südlichen Meers zeigt sich beim Beginn der Tertiärzeit wesentlich verändert; bis dahin scheint an der Stelle der nordspanischen Gebirge und der Alpen eine Inselreihe bestanden zu haben und nun erst gestalteten sich zusammenhängende Gebirgszonen, es erhoben sich theilweise die drei südlichen Halbinseln, es entstand eine nordafrikanische Küste, und mit annähernde Umriß begann das Mittelmeer von dem großen südlichen Ocean sich zu sondern; große Süßwasserseen bedeckten Südfrankreich und den Raum zwischen den süddeutschen Gebirgen und den Alpen, dann geschah wohl in Folge einer Senkung ein neuer Einbruch des Tertiärmeers, und ein bald offener, bald durch Inseln und Riffe beinahe oder wirklich unterbrochener Kanal verband durch Südfrankreich, Schweiz und Oestreich das atlantische und mittelländische Meer mit dem über Südrußland bis tief nach Asien hinein ausgedehnten schwarzen und kaspischen Meere. Fünftens, eine neue Hebung eines großen Theils von Südeuropa machte dieser Verbindung ein Ende und gab dem Erdtheil größtentheils seine jetzige Gestalt, doch haben seitdem die Schwankungen des Bodens und die Veränderungen der Küsten fortgedauert; als bereits Schweiz, Südfrankreich und Italien zumeist trocken lagen, befanden sich beträchtliche Theile von Sicilien, die weite Umgebung des schwarzen und kaspischen Meers, Dänemark und viele andere Gegenden noch lange unter Meeresbedeckung, und noch jetzt beobachtet man, wie im Lauf von Jahrhunderten an den einen Küsten langsam aber ohne Unterbrechung die See zurückweicht, an anderen über das Land gewinnt und vordringt."

Wir haben im obigen die Gliederung der Erdoberfläche nur im ganz Allgemeinen zu schildern versucht, und müssen uns bereits fast enthalten, einen dritten Schritt mit der weiteren Gliederung der einzelnen Welttheile vorzunehmen. Nur flüchtig deuten wir die Grundzüge an. Von Australien ist fast nur sein Umriß bekannt, sein Bau (mit Ausnahme der südöstlichen Ecke, wo Gebirgsland vorkommt) so gut als unbekannt; es ist mehr Vermuthung als Thatsache, daß es größtentheils aus steppenhaftem Tiefland bestehen soll.

Afrika zerfällt in einen Norden und Süden, das ganze südliche Dreieck oder Südafrika ist ein gewaltiges ununterbrochenes Hochland, das nördliche Oval oder Nordafrika nimmt großentheils ein nicht minder großes und (bis auf den südlichen Landstrich um den Tschadsee) wüstes Tiefland ein, umgeben von drei Gebirgsgliedern, die Nilgebirge im Osten in unmittelbarer Verbindung mit dem südlichen Hochland, der hohe Sudan im Südwesten nur durch den Einschnitt des Nigerstroms davon getrennt, ganz selbständig aber im Norden das Atlassystem „unserem Welttheil gleichsam als ein Kleinafrika zugekehrt.“ Asien zerfällt in einen Osten und Westen; Ostasien oder Hinterasien ist bezeichnet durch ein mächtiges Hochland mit zahlreichen, nicht minder mächtigen Gebirgssystemen, gleichlaufend im Westen, wo das ganze Hochland am schmalsten, ostwärts weit auseinanderlaufend bis in die ostsibirische und hinterindische Halbinsel; durch zwei Tiefländer, das sibirische im Norden, das indische im Süden, und durch eine Folge halbinselförmiger Glieder, die (von Kamtschatka über Mandschurei, China, Hinterindien bis Dekan) mit theils selbständigen, theils und vornehmlich an das Hochland sich anschließenden Gebirgssystemen dieses meerwärts umgeben, und denen noch eine Folge von Inseln gleichläuft (von den Kurilen durch die japanischen und chinesischen bis zu den ostindischen). Ebenmäßig ist Vorderasien gebaut; sein mit dem östlichen in einer Gebirgsecke zusammengränzendes Hochland, Iran, im Westen in das armenische Hochgebirgsland sich zuspitzend, hat im Norden das turanische (kaspische), im Süden das syrisch-arabische Tiefland (beide wüst bis auf die nächste Umgebung ihrer Ströme); das arabische Hochland, der syrische Gebirgsstreifen, Kleinasien mit seinem Tafelland und Kaukasien mit seinem Hochgebirg sind die umgebenden Glieder, und die tiefeinschneidenden Golfe in Süden (der persische, arabische) bilden mit dem Mittelmeer und den nördlichen Binnenmeeren (dem schwarzen, kaspischen) eine gegen den Osten sehr abstechende Wasserdurchbrechung. Auch Europa zerfällt in einen Osten und Westen; Ost- oder Niedereuropa ist ein weitgedehntes Tiefland,

von breiten Landrücken durchzogen, im Osten an die Abfälle eines Gebirgs (Ural) sich anschließend. In West- oder Hocheuropa überwiegen fast die Glieder über den Rumpf, diese Glieder lösen sich gleichsam rechtwinklig zur Längenaxe des Welttheils (die von Nordost nach Südwest geht) paarweise ab, je eines im Süden und eines im Norden, nämlich erst die griechische und die skandinavische Halbinsel, alsdann Italien und Britannien, bis sich das Ganze in der spanischen Halbinsel mit ihrem Tafelland, als dem Kopf des „jungfrauförmigen Erdtheils" zuspitzt; der Rumpf oder Mitteleuropa aber ist sozusagen amphitheatralisch gebaut, indem den inneren Hochgebirgsring der Alpen, der sich in die mittlere und östliche Halbinsel fortsetzt, ein äußerer Gürtel von Hochplatten und Bergländern (von den Sevennen bis zu den Karpathen) umgiebt, und diesen ein Tieflandsgürtel, der im Osten ohne bestimmte Gränze in das osteuropäische Tiefland übergeht. Südamerika besteht aus dem Hochgebirg der Anden, das mit seinen Abfällen den ganzen Westen einnimmt, kleinere Hochländer in beträchtlicher Anzahl zwischen seinen Doppelketten und Querjochen einschließend, aus drei großen Strombecken (Orinoko, Amazonenstrom und Laplata), die im Osten durch zwei vereinzelte Hochländer (dem kleineren von Guyana und dem großen brasilischen) getrennt sind. Ebenmäßig hat Nordamerika im Westen sein Kordilleren-Hochland, das im Süden die ganze Breite des Welttheils einnimmt (Mexiko), im Norden zwischen einem inneren und einem meerentlang ziehenden in die Halbinsel Kalifornien auslaufenden Hochgebirge immer weiter sich ausbreitet; der ganze Osten ist Niederung bis auf einige Landrücken, die es quer durchziehen, und das vielfach durchbrochene Alleghanygebirg entlang dem atlantischen Meer, im Süden das mächtige Becken des Mississippi, im Norden die seenreiche Niederung um die Hudsonsbai, jenseits deren der große nordamerikanische Polararchipel in unbekannte Weiten sich erstreckt; die Glieder, zu welchen zwar außer den Halbinseln Kalifornien, Florida, Labrador nebst der Insel Neufundland etwa auch die Nordwestecke, besonders aber die mittelamerikanische

Landenge (d. h. von Panama wenigstens bis Tehuantepek) zu rechnen ist, treten gleichwohl sehr gegen den Rumpf des Welttheils zurück.

Mit diesen Bemerkungen über den besonderen Bau der Welttheile müssen wir uns hier begnügen, es mag aber daraus genugsam hervorgehen, in welchem Sinn wir der Erdoberfläche einen besonderen Bau, eine natürliche Gliederung zuschreiben, vermöge deren sie in mehrere große natürliche Abtheilungen von eigenthümlichem Gepräge als in ihre Glieder zerfällt, die dann aufs neue in solche natürliche Abtheilungen gegliedert sind u. s. w. Je weiter aber überhaupt diese fortgesetzte Gliederung geht, ein desto ausgebildeteres Ganzes hat man in dem betreffenden Theil der Erdoberfläche, in eine desto reichere Fülle von Naturformen ist er entwickelt; je kleiner zugleich der Maßstab ist, wornach das Ganze angelegt erscheint, oder je kleiner die Abmessungen sind, welche die einzelnen jener Naturformen zeigen, desto verbundener sind dieselben bei ihrer Absonderung, desto leichter sind gleichsam die Glieder in einander eingelenkt. Eben in dieser Beziehung steht Europa (zumal das westliche, übrigens mit Einschluß der griechischen und skandinavischen Halbinsel) an der Spitze aller Landentwicklung, und bietet trotz seiner kleinen Ausdehnung das Größte von länderbildender Gliederung dar, wovon man sagen könnte: jede Hufe Lands ein Königreich.

Zu dieser Gliederung des Landes tragen überhaupt zunächst zwei Umstände bei. Einmal beruht sie auf dem gegenseitigen Eingreifen von Land und Meer, wodurch einerseits Zwischenmeere nach ihren verschiedenen Formen von Kanälen und Golfen bis zu eigentlichen Binnenmeeren und Beinahseen entstehen, andrerseits Gestadeinseln, gleichsam abgetrennte Glieder des Lands, und Halbinseln, von Beinahinseln und Landengen bis zu bloßen Auswölbungen und Vorsprüngen des Landes. Dieser wagrechten Gliederung aber, auf welcher hauptsächlich die Weltstellung der Länder und ihrer Orte beruht, steht die senkrechte zur Seite, die Vertheilung von Hoch und Nieder, nach der vornehmlich das Naturgepräge,

die innere Bildung der Länder zu ermessen ist. Das Land gliedert sich nämlich zum anderen in verschiedene Stockwerke nach den verschiedenen Erhebungen über den Meeresspiegel, sowie, was aufs engste damit zusammenhängt, in verschiedene Becken nach den Rinnsalen der fließenden Gewässer. Hiernach unterscheidet man die bald größere bald kleinere Räume einnehmenden Naturformen der Gebirgsländer, der Hochländer (Tafelländer) und der Tiefländer mit ihren mannigfaltigen Schattirungen und Mischformen, und sofern diese verschiedenen Landesformen gleich Stufen (Terrassen) aneinander sich anschließen und von den höchsten Anschwellungen des Landes aus den Uebergang zum Meer vermitteln, so erwächst der Begriff von der stufenmäßigen Abdachung des Landes, und den Stufenländern, die den Flußthälern entlang verbunden, sonst aber durch Mittelgebirge von einander geschieden sind.

Die Grundformen des gehobenen Landes, Bergkuppen (vereinzelt oder haufenweise), Bergketten, Hochplatten, verbinden sich in den Gebirgssystemen auf die mannigfaltigste Weise, um die einzelnen Massen derselben, welche durch tiefere Einschnitte, die Thäler, von einander getrennt sind, zu bilden, während die einzelnen Berge in einem Berghaufen oder einer Bergkette mit den unteren Theilen eine einzige zusammengewachsene Masse ausmachen, über welche sich erst die oberen Theile mehr oder weniger weit erheben, dergestalt daß bei manchen Gebirgen die Gipfel zur doppelten Höhe der Gesammtmasse (der Kamms) ansteigen, bei manchen kaum darüber sich erheben oder fast nur am Abhang durch Wasserrinnen von einander geschieden erscheinen. Nach dem Vorherrschen der einen oder anderen Grundform zerfallen die Gebirgssysteme selbst in centrale oder Massengebirge, Gebirgszonen oder Kettengebirge mit Hauptlängenthälern, und Tafelländer. In der That, obgleich bei den letzteren der den Gebirgscharakter bezeichnende rasche Wechsel von Hoch und Nieder gegen die Ausdehnung der Hochplatten zurücktritt, so daß man sie mit Recht den Gebirgsländern als eigene Landesform beiordnet, so ist es auf der anderen Seite doch nur ein gradweiser Unter-

schied in der Ausdehnung der Hochplatten. So ordnen sich z. B. bei den südamerikanischen Anden die bis zu 10 und 12 Tausend Fuß Meereshöhe ansteigenden und durch Querjoche zwischen den gleichlaufenden Hauptketten gänzlich abgeschiedenen Hochplatten der Ausdehnung nach dem Gebirg so sehr unter, daß das Ganze als ein wahrhaftes Gebirgssystem mit hochlandförmigen Bestandtheilen erscheint. Im hinterasiatischen Hochland dagegen treten die mächtigen Gebirge, welche die Hochflächen durchziehen und umwallen, gegen deren ungeheure Ausdehnung in einem Maß zurück, daß das riesenhafteste Hochgebirg der Erde (der Himalaya) nur als ein Randgebirg des Hochlands erscheint. Freilich wenn man so, wie es in der Natur der Sache gegründet ist, diese ungeheure Landesmasse, dessen äußere Umrisse die Hochgebirge Himalaya, Siveschan, Khingan, Altai und Belurtagh bezeichnen, als Ein geographisches Ganzes zusammenfaßt, so ist dieß eigentlich schon ein Ganzes höherer Ordnung, bei welchem nämlich wieder einzelne Gebirgssysteme und Tafelländer zusammengefaßt werden.

Solche Betrachtungen, welche wir keineswegs weiter ausspinnen wollen, mögen zeigen, wie man bei Anwendung der geographischen Grundbegriffe von den Landesformen zu verfahren hat, nämlich in einer Aufstufung, welche von den Grundformen aus zusammengesetztere Gebilde niederer und höherer Ordnung unterscheidet. So verhält es sich auch mit dem bei den Geographen beliebten Begriff des (gemischten) Berglands, welcher kleinere Gebirge, Hochplatten und Thalbecken zusammenfaßt. Nur vorübergehend deuten wir außer dem schon berührten Unterschied der Randgebirge und selbständigen Gebirge, die von der Richtung oder Streichung hergenommenen Unterscheidungen an (Parallel-, Meridian-Gebirge), wobei wir an die geologische Bedeutung erinnern, die man überhaupt neuerdings den Gebirgsrichtungen zu geben versucht, daß „die Aufrichtungen der Schichten, die von gleichem geognostischen Alter sind, sich einer und derselben Richtung anzuschließen scheinen“; desgleichen die von der Höhe hergenommenen Unterscheidungen (Hochgebirge,

Mittelgebirge), wobei übrigens nicht sowohl (sowenig als bei der Unterscheidung der Hochländer und Tiefländer) bestimmte Höhen maßgebend sein dürfen, als vielmehr die Erhebung in die Schneeregion oder die Wärmeverhältnisse der Gebirge, von denen aber erst im vorletzten Abschnitt die Rede sein wird. Ueberhaupt sind die Begriffe beziehungsweise zu fassen, und es kann das, was in der einen Gegend der Erde als Hochgebirg oder Hochfläche anzusprechen ist, in der anderen unter den Begriff des Mittelgebirgs oder der Niederung fallen; in der That ist ein Hochgebirg der Mittelzone in der Tropenzone und ihrer nächsten Umgebung nur Mittelgebirg, eine europäische Hochebene ist in Asien wie in Südamerika bereits Niederung. Bemerkenswerth aber ist es, wie die Höhe der Gebirge mit der Höhe der Schneelinie wirklich gleichen Schritt hält, dergestalt daß die Anschwellungen des Landes von den Tropen zur Polarzone allmälig an Höhe abnehmen.

Die höchsten Höhen, zu denen das Land überhaupt ansteigt, betragen in den Berggipfeln 22 bis 25 Tausend, in den Gebirgskämmen, Gebirgsrücken und Hochplatten 12 bis 15 Tausend Pariserfuß über dem Meer. Neben den höchsten Höhen, zu denen einzelne Landesräume sowie ganze Welttheile sich erheben, handelt es sich auch um die mittlere Erhebung, was man sogar auf die ganze Erdoberfläche ausdehnen kann. Begreiflicher Weise darf man aber z. B. bei der Frage nach der mittleren Meereshöhe des europäischen Festlands nicht schlechtweg das Mittel zwischen den Höhen seiner verschiedenen Stockwerke nehmen, sondern es kommt bei jedem auch seine wagrechte Ausdehnung in Betracht, und es kann daher eine sehr große Anschwellung auf kleiner Fläche gegenüber einer weitausgedehnten Niederung nur einen schwachen Beitrag zum Gesammtergebniß liefern; so hat Humboldt berechnet, daß die Masse der Alpen auf das Flachland von Europa vertheilt dieses nur um etwa 20 Fuß erhöhen würde. Er ist von da zur Frage nach der Meereshöhe des Schwerpunkts fortgeschritten, der dem über den Meersspiegel her-

vorragenden Land dem Rauminhalt nach zukommt, d. h. abgesehen von der verschiedenen Dichte der Gesteine, wenn man sich also über den ganzen Flächenraum des Landes den Rauminhalt seiner verschiedenen Gebirge, Hochflächen u. s. w. gleichmäßig vertheilt denkt; es hat sich dabei für Europa 630, Nordamerika 702, dagegen für Südamerika 10.2 und für Asien 1080 Fuß ergeben, am meisten vielleicht würde die Erhebung bei Afrika, am wenigsten dagegen bei Australien betragen, wenn man eine Zahlenrechnung bei diesen Welttheilen von unbekanntem Inneren wagen dürfte.

Die Tiefländer treten einmal als große selbständige Landmassen aus, wie das russische, das sibirische, das hudsonische Tiefland, die Sahara, das Marannonbecken u. a., ohne jedoch, wie sich von selbst versteht in so großer Ausdehnung meerartig gleichförmige Flächen darzubieten, indem z. B. im russischen Tiefland breite Landhöhen mit beckenartigen Niederungen wechseln, und in der Sahara die Oasen als inselförmige Vertiefungen sich einsenken. Die andere Form begreift theils die Küstentiefländer, welche das hohe Land einfassen (wie in Deutschland, Frankreich), theils die Vertiefungen in Mitten des hohen Landes, Binnenmeeren oder Meerbusen vergleichbar (so die Thalsohle des Oberrheins, die ungarischen Ebenen, die Flachländer am Po, Quadalquivir, an der unteren Donau). Solche Zwischentiefländer stellen sich manchmal als wahre Einsenkungen dar; so die Rheinebene, indem die in geognostischer Hinsicht ebenmäßig zusammengesetzten Landschaften jenseits (Vogesen, Lothringen) und diesseits (Schwarzwald, Württemberg) „ein Gewölbe bilden, dem der Schlußstein fehlt“, an dessen Stelle nunmehr jene breite Thalsohle mit ihrem Schutt- und Schwemmland sich befindet. Daß es binnenländische Vertiefungen des Erdbodens giebt, die unter den Meeresspiegel herabsinken, ist schon an einer anderen Stelle bemerkt und in dieser Hinsicht die große Erdsenke des kaspischen und die kleinere aber um so tiefere des todten Meeres genannt. In manchen Küstenniederungen (Holland) sinkt das Land von den dünenförmigen Erhöhungen des Strandes

landeinwärts dergestalt, daß innere Landstriche meergleich oder selbst etwas unter dem Meeresspiegel liegen, und durch Dammbauten gegen Ueberschwemmungen geschützt werden müssen.

Während Tiefländer, die den Stromläufen entlang zumal in den Mündungsgebieten vorkommen, zu den fruchtbarsten Ländern gehören (die alten Kulturländer an den asiatischen Strömen und dem Nil): zeichnen sich die großen Flachländer, sowohl die niederen als die hohen, meistens durch ungünstige Verhältnisse für die Pflanzenentwicklung aus. In jenen Kulturtiefländern hat die schwemmende und schlämmende Thätigkeit der Ströme die Bildung der Dammerde unterstützt, die in den Thälern des Gebirgslands und im gemischten Bergland begreiflicher Weise am besten von statten gehen muß. Die Dammerde fehlt gänzlich in den Wüsten, wo mächtige Lagen von Flugsand oder nackter Kalkfels zu Tage gehen. Diese Naturform tritt in der alten Welt in großartigem Maßstab auf, ein ganzer Wüstengürtel durchzieht die Ostfeste von Afrikas Westküste durch den ganzen Welttheil über Aegypten und Nubien durch Arabien, Persien, Ostturkestan, Mongolei (Gobi) und Mandschurei bis zum großen Ocean, Hochland und Tiefland gleichmäßig einnehmend. Während eine mächtige Lage von gutem Humusboden die wald- und pflanzenreichen Flächen (Selvas am Marannon) in der Tropenwelt bedeckt, verbreitet sich saurer Humusboden über Tausende von Quadratmeilen in den sumpfigen Niederungen von Kanada, Nordeuropa und Sibirien (die Tundra oder morastigen Moosflächen, die im Winter zu Eisflächen erstarren). Der ebenfalls freie Säuren enthaltende Haideboden, wo Haidekräuter an die Stelle der Moose treten, tritt in weiten Strecken schon in Frankreich und Norddeutschland auf und nimmt nach Nordasien zu in noch größerem Maßstab überhand. An diese Haiden schließen sich sofort die Steppen an mit ihren weiten einförmigen Grasflächen, mager in den südrussischen und westasiatischen Steppen und theilweise in den Pampas des südlichen Südamerika, üppig in den Llanos des nördlichen Südamerika und den Savannen des südlichen Nord-

amerika; die Unterlage ist meistens Thon und Sandboden, mitunter nähern sie sich durch Flugsandbildung den Wüsten (Pampas), oder erinnern sie durch starken Salzgehalt an ehemaligen Meeresboden (Salzsteppen in Innerasien).

Der größte Theil des im Festland der Erde entquellenden Wassers steht in stetigfließender Verbindung mit dem Meer, indem es durch das Geäder der Bäche und Flüsse aus großen Landesräumen in Hauptkanälen (Landströmen) zusammenrinnt. Doch ist auch ein beträchtlicher Theil der Landgewässer vom Meer abgeschlossen, binnenländische Becken erfüllend und solchen zufließend. Wir haben das größte derselben bereits für einen Meeresrest zu erklären Gelegenheit gehabt, auch von anderen mag ähnliches gelten, und zwar nicht nur von Tieflandsseen, wie dem Tschadsee in Innerafrika und mehreren anderen (Balkasch u. s. w.) in Innerasien, sondern auch von Hochlandsseen, wie dem Lop, Tengri, Kuku auf dem hinterasiatischen, Zareh, Urmiya auf dem iranischen Hochland (kaum bezweifeln läßt sich, daß auch das ungeheure südafrikanische Hochland deren enthält, doch sind die Angaben über den Morawi, Zambre u. dgl. unsicher). Im Nordtheil der Ostfeste nimmt das Gebiet der Binnenwasser eine ungeheure zusammenhängende Strecke ein von der Newa bis China und Mandschurei und vom Tigris bis zur Dwina, Erdsenken, Tiefländer und Hochländer gleichmäßig umfassend. Auch einige jener muldenförmigen Hochplatten in den Anden enthalten in Alpenhöhe große Süßwasserseen (Titikaka). Da die meerabgeschlossenen Seebecken meistens in Steppen vorkommen, so begreift man sie und ihre Ströme häufig unter dem Namen der Steppenseen und Steppenflüsse; erstere haben auch in der Regel salziges meerähnliches Wasser, worauf wir sofort bei unserem Bild vom Meer zurückkommen werden. Daß die Steppenseen nicht durch ihre Zuflüsse ins Unbegrenzte ansteigen, ist dem Wasserverlust durch Verdunstung zuzuschreiben; an unterirdische Abflüsse, welche sie mit dem Meer verbänden, darf man aber nicht denken, weil sich sonst gleicher Wasserspiegel mit dem Meer herstellen müßte; das kaspische Meer

könnte also den niedrigen Stand nicht haben, und andere höher als das Meer liegende Seen müßten bei einer Verbindung mit demselben augenblicklich verschwinden.

Die übrigen Seen stehen durch Flüsse mit dem Meer in Verbindung, sei es daß Quellen eine seeartige Ausbreitung haben (Quellseen), oder daß sie vorübergehende Ausweitungen des Flußbetts sind, von Flüssen, wie man gewöhnlich sagt, durchströmt werden (die eigentlichen Flußseen); übrigens muß man bei diesen immerhin den Unterschied der beiden Fälle festhalten, den, wo der See gegen den Fluß zurücktritt, indem er gleichsam eine Wasser- und Geröllniederlage beim Austritt des Flusses aus dem Gebirgsland bildet (die sogenannten Alpenseen, unter denen die europäischen berühmte Naturschönheiten, der größte aber der südsibirische Baikalsee, nämlich dem adriatischen Meer gleich ist), und den Fall, wo der Fluß gegen den See oder gegen ein ganzes System großer Seen zurücktritt, wie sie in den niedrigeren nördlichen Gegenden der Erde im Osten wie im Westen vorkommen (die canadischen Seen mit dem Niagarafall und Lorenzstrom, und die russischen Onega-Ladoga). Ohne Zweifel waren in der Vorzeit die Flußwasserseen größer (Bodensee) und zahlreicher; ihre Bildung ist einestheils auf Einsenkungen des Bodens, anderntheils auf Ansammlung des Wassers in denselben zurückzuführen, bevor der Fluß durch den Stoß seines Wassers den Weg durch vorgelagerte Gebirge sich gebahnt hatte. Man darf daher annehmen, daß die gebirgumschlossenen breiten Thalsohlen und weiten Becken, die so mancher Stromlauf darbietet, ehemals vom Stromwasser erfüllt waren, so die oberrheinische Ebene vor dem Durchbruch des Stroms durch das niederrheinische Schiefergebirg. So oft sich überhaupt in der Bildungszeit der Ströme dem Wasserabfluß Widerstände durch Gebirge darboten, mußten sich solche weitere Wasserbecken bilden, die sich entleerten nach erfolgter Bewältigung des Widerstands, außer wo das Becken zu einer größeren Tiefe sich eingesenkt hatte, welche dann vom Wasser erfüllt blieb. Wir sehen daher in den Stromthälern häufig solche Thalausweitungen

mit engen Durchbruchsthälern wechseln, und es ist darin die ganze Geschichte des Stromlaufs im unebenen Lande enthalten. Die dem Strom entlang sich folgenden Becken sind ebensoviele Querstufen, welche der sich fortgrabende Fluß gebildet hat, zugleich aber sind auch Längenstufen entstanden, indem das, was in einem früheren Theil des Laufs das unmittelbare Thal (die Niederung) war, weiterhin, nachdem der Fluß sich tiefer gegraben, zur thalbegränzenden Höhe (zum Oberland) wurde.

Die Unterscheidung des oberen, mittleren und unteren Laufs der Ströme entspricht derjenigen des Hochlands, Stufenlands und Tieflands; er tritt daher nur bei solchen Hauptströmen recht hervor, welche alle diese Abstufungen des Landes von seinen größten Anschwellungen an durchlaufen, und man kann von manchen Flüssen sagen, daß sie blos aus Unterlauf bestehen, oder daß der Mittellauf fehle, oder daß der Oberlauf sich auf ein Kleinstes (den Quellbezirk mit seinen Wildbächen) zurückziehe; übrigens gehört weder der obere Lauf ausschließlich dem Gebirg, noch der untere ausschließlich der Ebene an, beides kommt auch im Mittellauf vor. Schon an einer anderen Stelle, wo wir die geologische Thätigkeit der fließenden Gewässer betrachteten, haben wir die Flußgeschiebe (Schlamm und Gerölle, von Sand bis zu Felsblöcken), die Schuttbildungen im Gebirgslauf, die Inselbildungen im Flachlauf erwähnt, und unter den letzteren insbesondere die Deltabildungen in den Mündungsgebieten ausgezeichnet. Die deltabildende Verzweigung des Stroms vor dem Einfluß ins Meer und die see- oder golfartige Erweiterung, wobei häufig Meereseinbrüche im Spiel zu sein scheinen, sind die beiden Hauptformen der Flußmündungen, welche in manchen der sogenannten Haffe sich in der Art zu verbinden scheinen, daß erst nach einer Seebildung der Strom in mehreren Armen zwischen Inseln ins Meer sich ergießt (Oder).

Die Bewegung der fließenden Gewässer ist ungleichförmig; die Geschwindigkeit hängt von zwei Umständen

ab, von der durch das Gefälle bestimmten Fallbeschleunigung und von der Verzögerung durch Widerstände, Reibungen des Strombetts und der Ufer, selten aber wird beides sich auf eine größere Strecke zu einer gleichförmigen Bewegung ausgleichen. Andere Umstände, welche von Einfluß auf die Stromgeschwindigkeit sind, kommen auf die vorigen zurück; so wirkt namentlich größere Tiefe des Stroms beschleunigend deßhalb, weil der Einfluß der Widerstände gegenüber der größeren Wassermasse kleiner wird. Deßhalb ist auch die Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten des nämlichen Querschnitts ungleich, weil die Tiefe ungleich ist, am größten nämlich über der größten Tiefe oder über der eigentlichen Stromrinne (Fahrwasser), und dieß erzeugt den Schein einer Gegenströmung an den daneben befindlichen seichteren Stellen des Betts. Besondere Umstände der Stromläufe in dieser Beziehung sind die Wasserfälle und Stromschnellen; die Steigerung des Gefälles zum Größten, d. h. zu senkrechtem Fall bildet die ersteren mit verschiedenen Schattirungen, ein geneigtes Strombett (schiefe Ebene) oder eine barsche Verengerung desselben die letzteren; kommen dazu Unebenheiten des Strombetts, Felsen, an denen sich die reißende Strömung bricht, so entstehen Katarrakten (Strombrandungen), Strudel und Wirbel. Das Größte in dieser Beziehung mit zerstörenden Wirkungen bieten die Wildbäche in gebirgigen Quellbezirken und noch mehr die durch heftige Regen oder plötzlichen Schneegang erzeugten Gebirgswasser. Die Geschwindigkeit solcher Sturzwasser steigert sich bis zu 50 Fuß auf die Sekunde, während die mittlere Geschwindigkeit schiffbarer Ströme bei mäßiger Strömung zu 2 bis 4 Fuß, bei starker Strömung zu 4 bis 10 Fuß angenommen werden darf.

Die Wassermasse, welche ein Strom in einer gewissen Zeit über eine gewisse Stelle seines Laufs wegführt, hängt begreiflicherweise ab von der Geschwindigkeit der Strömung und von der Größe des Querschnitts (Stromprofils), wobei aber zu berücksichtigen, daß, wie oben bemerkt, erstere nicht in allen Punkten des Profils gleich ist. Hiezu kommt aber noch,

daß das Stromprofil (Tiefe und oft auch Breite) mit dem Wasserstand sich verändert. Man ist daher bei diesen merkwürdigen Bestimmungen auf mittlere Werthe angewiesen; so hat der Rhein bei Basel bei mittlerem Wasserstand eine Geschwindigkeit von 4,6 Schweizerfuß (wovon 10 drei Meter ausmachen) in der Sekunde, das Stromprofil mißt 6760 Quadratfuß und die abfließende Wassermasse beträgt stündlich 112 Millionen Kubikfuß, während er bei Emmerich bei einer mittleren Geschwindigkeit von 3,6 Fuß 265 Millionen Kubikfuß in einer Stunde vorbeiführt; im jährlichen Mittel soll der Ganges (bei Sicligully) 1800 Millionen und der Mississippi 1980 Millionen englische Kubikfuß stündlich dem Meere zuführen. Der Wasserstand der Ströme hängt von der Menge des Regens und beziehungsweise vom Schnee- und Eisgang ab, der in Hochgebirgen die ganze wärmere Jahrszeit hindurch andauert. Der größte Wasserstand fällt daher bei verschiedenen Strömen in sehr verschiedene Jahrszeiten, bei den tropischen insbesondere in die Zeit der periodischen Regen, womit meist regelmäßige Ueberschwemmungen verbunden sind, die sich über große Räume erstrecken; besonders riesenhaft bietet sie der Amazonenstrom, der den Schlamm bis an die Baumgipfel seiner Urwälder absetzt, besonders folgenreich altbekanntermaßen der Nil dar; ja viel Ströme haben in verschiedenen Theilen ihres Laufs verschiedene Hochwasserzeiten (der Rhein ist bei Basel im Juli am höchsten, im Januar am niedrigsten, bei Kölln finden zwei Größte im März und Juli, und zwei Kleinste im Oktober und Mai statt); außerordentliche Anschwellungen treten in unseren Gegenden auch bei außerordentlichen Regen ein. Die Vergleichung der mittleren Wasserstände aus verschiedenen Jahrgängen führt bei den mitteleuropäischen Strömen auf eine merkliche, mit der Zeit langsam fortschreitende Abnahme der Wassermenge, und daß in früheren vorgeschichtlichen Zeiten der Wasserstand der Ströme überhaupt größer gewesen sei, das geht mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit aus der großen Breite und Tiefe der Stromthäler hervor, welche entschieden die alten Strombetten sind, sowie aus den Ablagerungen von grobem Gerölle

an Stellen, wo heutzutage nur noch Sand und Schlamm abgesetzt wird.

Die Wassernetze der Ströme bilden gleichsam das Arteriensystem im Kreislauf des Wassers, die Herzkammern desselben, so zahlreich wie die Quellen, gehören dem unterirdischen Reich an, das wir im elften Abschnitt betrachteten, die unsichtbaren Venen aber dem überirdischen Reich der Luft, wovon der nächste Abschnitt handelt. Nach den einer Hauptrinne zufließenden, je ein Stromsystem bildenden Wassern zerfällt das Land in Stromgebiete oder ebensoviele Becken, die aber nicht immer durch hervorstechende Gränzen (die Wasserscheiden) von einander getrennt sind, dergestalt daß auch vorübergehende und bleibende Verbindungen zweier Wassersysteme vorkommen (Gabelungen, z. B. zwischen Orinoko und Maranhon); die Wasserscheiden laufen oft durch sumpfige Flachländer hin, während dagegen ein mächtiges Gebirg ein Stromgebiet mitten durchsetzt. Dieß verringert die Wichtigkeit der Wasserscheiden, sowie die der Vertheilung der Erdoberfläche in Wasserbecken oder Stromgebiete. Das Gebiet des größten Stroms der Erde, dessen Wassermasse der von ganz Afrika gleichgeschätzt wird, umfaßt den ungeheuern Raum von 106000 Quadratmeilen, und das des Missisippi übertrifft noch mit 61400 Quadratmeilen das größte Stromgebiet der alten Welt, wo der sibirische Obi mit 57200 Quadratmeilen voransteht. Wenn aber das Nilgebiet zu 32600 Quadratmeilen geschätzt wird, während Donau deren nur 14600, Rhein nur 4080 hat, so stehen diese Ströme mit ihrem Wassernetz weit über dem ersten, bei dessen langem Lauf zwischen wüsten Hochplatten nur ein einziger bedeutender Nebenfluß bekannt ist. Wenn man die Linie, welche von der Hauptmündung aus das Stromgebiet ungefähr hälftet, als mittlere Stromrichtung betrachtet, so ergiebt sich ein entschiedenes Uebergewicht der ostwärts fließenden Ströme über die von entgegengesetzter Richtung, zugleich also eine sanftere Abdachung der Kontinente nach der Ostseite, ein steilerer Abfall nach der Westseite, und die Summe der ostwärts abdachenden Stromgebiete ist mehr als viermal so groß im Ver-

gleich mit den westwärts abfallenden, während zwischen der Nord- und Südabdachung kein beträchtlicher Unterschied vorhanden ist.

Nach den Gesichtspunkten, welche die Landesformen und Wassersysteme darbieten, hat nun der Geograph die Länder (Landesindividuen) zu bestimmen, in welche sich die Erdtheile weiter gliedern, welche selbst schon solche Ganze vom allgemeinsten Gesichtspunkt aus sind. Allein einmal hält es oft schwer, hier das wahrhaft Naturgemäße zu treffen, denn wie sehr manche sich vermöge ihrer Aussonderung durch das Meer und die Einheit ihres geographischen Baues (trotz der Mannigfaltigkeit der darin abwechselnden Landesformen) hervorheben, nämlich die meisten der großen Halbinselglieder der Ostfeste, in Asien von der ostsibirischen Halbinsel rund herum bis zur kaukasischen Landenge, in Europa von der griechischen bis zur skandinavischen Halbinsel; wie sehr andere, die zu den Rümpfen der Erdtheile gehören, durch riesenhaftes Auftreten der einen oder anderen Landesform gegen ihre Umgebung abstechen, nämlich alle jene mächtigen Hochländer und Tiefländer der alten und neuen Welt, z. B. das Gebirgssystem der südamerikanischen Anden, das wildnißartige Becken des Amazonenstroms in Mitten desselben Welttheils, die Sahara, das südafrikanische Hochland, das hinterasiatische und vorderasiatische (iranische) Hochland, das turanische und sibirische Tiefland, das osteuropäische Tiefland: so ist, wo beide Anhaltspunkte fehlen, gleiche Gefahr, daß man zu sehr trennt und als nächste Abtheilungen der Welttheile aufstellt, was erst Unterabtheilungen sind, oder zu viel zusammenfaßt und über dem minder scharfen Hervortreten der Naturgränzen wesentliche Naturunterschiede vernachlässigt, so bei Mitteleuropa, Vorderasien, Nordamerika. Alsdann aber kommt noch hinzu, daß der Geograph nicht minder die vom Menschen geschaffenen (höheren und unsichtbaren) Einheiten zu berücksichtigen hat, welche oft zur Zeit nicht gleichen Schritt halten mit den natürlichen Einheiten der Landesgliederung an und für sich, so unverkennbar auch beides zusammenhängt, wenigstens in der Idee. Wir begnügen uns

daher mit dieser geographischen Andeutung, um so mehr, als wir den Menschen erst im letzten Abschnitt in Betrachtung ziehen, und wenden uns zum letzten Gegenstand unseres Abschnitts, zu den allgemeinen Verhältnissen des Meers.

Die bekannte Salzigkeit des Meerwassers rührt hauptsächlich von Kochsalz (Chlornatrium) her, dazu kommen andere Chlorsalze, namentlich Chlormagnesium, weniger Chlorcalcium, schwefelsaure Salze, wie schwefelsaures Natron oder Glaubersalz, schwefelsaure Talkerde und (wenig) Kalkerde, in sehr geringen Mengen auch kohlensaure Salze (von Talk- und Kalkerde), Kali, Brom- und Jodsalze; auch fehlt der eine oder andere mineralische Bestandtheil in manchen Meeren, das Mittelmeer enthält z. B. viel schwefelsaure Talkerde, aber kein Glaubersalz, während das atlantische dieses in ansehnlichem Grad enthält, aber jenes nicht. Ueberhaupt ist der Mineralgehalt des Meers im Ganzen genommen keineswegs überall gleich, er steigt mit Verdampfung und Eisbildung, er sinkt in Binnenmeeren, zumal wenn sie viel Flußwasser aufnehmen und nicht etwa die Verdampfung den Zufluß wieder überwiegt; auffallend gering ist er z. B. in der Ostsee (7 auf 1000) und im schwarzen Meer (18 auf 1000), während das weiße (32 auf 1000) und das mittelländische (39 auf 1000) schon den größeren Salzgehalten sich nähern. Das atlantische Meer soll das stille und indische im Allgemeinen übertreffen, und zwar nimmt der Salzgehalt in demselben, wie auch im stillen Meer, nördlich und südlich vom Aequator zu bis zu einer gewissen Breite, aber dem Polarmeere zu wieder ab; in jenen Gegenden des größten Mineralgehalts beträgt derselbe beim atlantischen Meer 41 bis 43 auf 1000. Dem gegenüber ist der Mineralgehalt der Flüsse und Flußseen sehr gering ($^3/_{20}$ bis $^1/_5$ auf 1000), aber viel beträchtlicher bei manchen Steppenseen; so beträgt er beim Eltonsee in Saratow 255, beim Urmiyasee in Armenien 271, beim todten Meer 245 auf 1000. Auf die Frage nach dem Ursprung des Salzgehalts bei Meeren (und Seen) hat man sonderbarerweise mit einer Mineralzufuhr durch die Ströme geantwortet, während doch an vielen

Strommündungen das Meer auf große Strecken salzärmer ist; der Erklärung durch Steinsalzlager auf dem Meeresgrunde hat man mit der Herleitung solcher Lager im Festland von früheren Meeren wenigstens im Allgemeinen richtig gedient; es bleibt also nichts übrig als das, was gewiß das Richtige ist, daß der Salzgehalt dem Meer ursprünglich zukommt, mit ihm seinerzeit in der Atmosphäre schwebend und mit ihm weiterhin niedergeschlagen, da und dort aus früheren Meeren abgesetzt mit Hilfe von Verdampfung des Wassers durch unterirdische Wärme (Steinsalzlager).

Soweit die verschiedenen Meeresbecken in Verbindung mit einander stehen, kommt ihnen nach hydrostatischen Gesetzen diejenige Oberfläche zu, mit welcher die auf das Wasser wirkende Kraft, d. h. die Mittelkraft der Schwere und Schwungkraft rechte Winkel macht, also die sphäroidische Gestalt, von der wir im zweiten Abschnitt gehandelt haben, und welche so wenig von der kugelförmigen abweicht, daß man den sogenannten gleichhohen Stand der Meere gewöhnlich durch gleichen Abstand von der Erdmitte erklärt, während er der Strenge nach nur besagt, daß alle Meere eine und dieselbe Ellipsoidfläche bilden, welche keineswegs in allen Punkten gleiche Entfernung von der Erdmitte hat. Dieß ist der gemeinsame Meeresspiegel, auf welchen daher alle Höhenangaben sich beziehen. Gleichwohl giebt es nach sorgfältigen Messungen, wie auch nach den in Meerengen vor sich gehenden Strömungen kleine Unterschiede im Spiegel verschiedener Meere, auch liegen die Ursachen von solchen Verschiedenheiten nahe. Denn einmal bewirkt verschiedene Dichte, wie wir schon im ersten Abschnitt zu bemerken Gelegenheit hatten, verschiedenen Flüssigkeitsstand in verbundenen Gefäßen, verschiedene Dichte kann aber bei den Wassern verschiedener Meere auf Ungleichheiten im Mineralgehalt so gut wie in der Temperatur beruhen, und findet somit in Wirklichkeit statt. Alsdann kann, zumal bei kleineren Binnenmeeren, der Zufluß von Seiten der Festlandsgewässer so groß sein, daß er mit dem Abgang durch Verdunstung sich nicht ausgleicht; dieß hat dann nothwendig eine Erhöhung des

Wasserspiegels zur Folge, zugleich aber durch das Bestreben nach Herstellung des gleichen Standes eine Strömung nach dem benachbarten tieferen Meer. So findet in der That ein beständiger Abfluß der Ostsee zur Nordsee durch die dänischen Meerengen statt, und eine starke altberühmte Strömung führt die Wasser des schwarzen Meers durch Bosporus und Hellespont dem Mittelmeere zu. Umgekehrt endlich kann ein Ueberwiegen des Dunstabgangs über den Zufluß Erniedrigung zur Folge haben, und sofort eine Zuströmung vom Nachbarmeer. Es ist aber eine Frage, ob hieraus die Strömung bei Gibraltar aus dem atlantischen ins mittelländische Meer hergeleitet werden darf.

Unmittelbare Messungen haben nämlich, wie meistens so hier, unsichere Ergebnisse geliefert, so daß also z. B. das Mittelmeer nur um 2½ Fuß tiefer als das atlantische liegen soll, während dagegen der allerdings ansehnliche Betrag von 25 bis 30 Fuß für die Erhebung des rothen Meers über das mittelländische angegeben wird; auch beim amerikanischen Mittelmeer, das man lange für beträchtlich höher hielt als das stille und atlantische, haben Messungen nur verschwindende Größen geliefert gegenüber dem atlantischen, und für das stille Meer vielmehr das Umgekehrte (zugleich mit der Erklärung, daß dieß nur von dem höheren Ansteigen der Fluth auf der Westseite der Landenge von Panama herrührt, denn zur Zeit der höchsten Fluth soll das stille Meer über 13 Fuß höher, zur Zeit der niedrigsten Ebbe um 6 Fuß niedriger sein). Was aber das Mittelmeer der alten Welt im Verhältniß zum atlantischen betrifft, so scheint zwar das Ergebniß der Messung und die schon erwähnte Strömung sich gegenseitig zu unterstützen, allein gegen die angedeutete Erklärung dieser Strömung spricht, daß der Salzgehalt eher im atlantischen Meer etwas beträchtlicher ist, daß keine Ursache stärkerer Verdunstung beim Mittelmeer vorliegt, und daß die Wasserzufuhr in dem beschränkteren Becken des Mittelmeers sich eher bemerklich machen sollte; auch giebt es noch eine andere Erklärung für jene Strömung, nämlich durch eine zugleich stattfindende untere Strömung im entgegen-

gesetzten Sinne, worauf wir bei den Strömungen zurückkommen.

Eine andere Frage ist die nach dem Gleichbleiben des Meeresspiegels im Verlauf der Zeit. Hiebei ist nun vor allem klar, daß eine bedeutende plötzliche oder eine fortgehende Veränderung im Spiegel des Meeres, sei es durch Vermehrung oder Verminderung der Wassermasse, sei es durch Erhöhung oder Einsenkung des Meeresbodens, an allen Küsten zugleich hervortreten müßte, indem was anfangs wohl örtlich wäre, durch Strömungen bald allgemein würde. Ebendeßhalb mußten wir im elften Abschnitt die langsamen örtlichen Hebungen und Senkungen, die man an manchen Küsten fortwährend beobachtet, eher als wirkliche Hebungen und Senkungen des Landes betrachten, und durften diese Erscheinungen kaum aus dem Rückzug oder Ansteigen des Meers herleiten. Da nun aber der Meeresspiegel im Allgemeinen in den geschichtlichen Zeiten sich nicht verändert hat, so ist ein Gleichgewicht zwischen Zufluß und Abgang durch Verdunstung und andere Ursachen vorauszusetzen, und weder eine namhafte Vermehrung noch Verminderung der Wassermassen anzunehmen, weder eine beträchtliche Senkung noch Erhöhung des Meeresbodens, wenigstens hat nichts dergleichen bis jetzt merklichen Einfluß auf den allgemeinen Wasserstand des Weltmeers geäußert. Ganz anders freilich mag Wassermenge und Wasserstand des Meers in der Vorzeit sich verändert haben, wo (außer den gänzlich anderen Verhältnissen nach Wärme und Atmosphäre) mächtige Gesteinsmassen aus dem Ocean sich absetzten und bei einer viel weiter gehenden Zerklüftung der Erdkruste auch ungleich beträchtlichere Wassermassen ins Innere abgiengen und daselbst chemisch gebunden wurden. Bei allem dem aber werden wir nie an die Meeresstände der Neptunisten glauben, wenn sie auch die sinkenden Wasser in unterirdische Höhlen u. s. w. noch so gut unterbringen zu können glauben. Blicken wir endlich auf die obigen Thatsachen von der Abnahme der Ströme (und Flußseen) zurück, so dürfen wir blos sagen, daß diese Wasserabnahme, worin sie auch ihren Grnnd haben

mag (z. B. Verschwinden ins Innere der Erde), noch weit davon entfernt ist, an den großen Wassersammlungen der Erde merklich zu werden. Daß immerhin fortwährend einiges Wasser beim Durchgang durch die Erdrinde abhanden gehen mag, steht überhaupt keineswegs im Widerspruch mit der behaupteten Unveränderlichkeit (d. h. soweit bis jetzt merklich geworden) des allgemeinen Meeresspiegels.

Schon im vierten Abschnitt haben wir erwähnt, daß die Tiefe der Meere im Verhältniß zum Erdhalbmesser gering sein müsse, und daß dann die Bedingung des Gleichgewichts der Meere darin liegt, daß ihre Dichte kleiner als die mittlere Dichte der Erde ist. Mechanische Gründe (namentlich die Mechanik der Ebbe und Fluth) führen zu dem Ergebniß, daß die mittlere Tiefe der Meere nur ein Bruchtheil von der Abplattung der Erde oder vom Unterschied der beiden Erdhalbmesser (3 Meilen) sein muß, daß sie daher etwa gleichen Schritt mit der Erhebung des Landes über das Meer halten mag, so daß auch die größten Einsenkungen des Meeresgrunds den höchsten Erhebungen der Gebirge entsprechen. Aber auch geologische Gründe zielen eben dahin, jedenfalls ist die (sehr mäßige) Dicke der festen Erdrinde eine Gränze, welche die Meerestiefe nicht erreichen kann, man darf aber beifügen, daß noch eine sehr beträchtliche Kruste die Wassermassen des Meers von dem inneren Wärmeheerd trennen muß, weil sonst die Wärmeverhältnisse der Meere ganz andere sein müßten, denn man hat keine Spur einer Erwärmung von unten, im Gegentheil zeigen auch die Tropenmeere in der Tiefe eine gleichmäßige eisige Temperatur, wovon nachher die Rede sein wird. Die Tiefe der größeren Meere hat allerdings der Messungen durch das Senkblei gespottet, ergründet ist das Meer nur an den seichteren Stellen. Man hat häufig bei 10 und 12 Tausend Fuß noch keinen Grund gefunden, und in eine größere Tiefe ist man bis jetzt nicht gedrungen (wenn Roß im südatlantischen Ocean Tiefen bis zu 25 oder gar 30 Tausend Fuß gemessen haben soll, so möchten wir dieß fast bezweifeln); um ein Senkblei auch nur in eine Tiefe von 4 bis 5000 Fuß

niederzulassen und wieder heraufzubringen bedarf es einer riesigen Arbeit, Taucher vermögen nicht über 100 Fuß sich hinabzubegeben. Die Ursache ist ohne Zweifel der ungeheure Druck in größerer Tiefe; der Druck in jeglichem Flüssigkeitsbecken nimmt mit der Tiefe verhältnißmäßig zu, schon bei 6000 Fuß Tiefe ist der Druck dem von 200 Atmosphären gleich, wo das Wasser bei einer Temperatur von etwa 320 Grad sieden würde, und bei der immerhin noch möglichen Tiefe von 30000 Fuß hätte man einen Druck von 1000 Atmosphären und eine Siedtemperatur von 480 Grad; bekorkte Flaschen, die man ins Meer versenkte, zog man mit hineingedrückten Korkstoppen heraus. Dagegen nimmt die Dichte nicht beträchtlich zu, da das Wasser nur in geringem Grad zusammendrückbar ist; man berechnet, daß die Dichte des reinen Wassers in jener Tiefe von 30000 Fuß noch nicht die einer gesättigten Salzsoole erreicht; übrigens muß die Zunahme der Dichte immerhin nach Maßgabe des Drucks fortschreiten.

Ist schon die Frage nach der größten und mittleren Tiefe des Weltmeers zur Zeit unbeantwortbar, so ist es noch mehr die Frage nach der Beschaffenheit des Meeresbodens. Wir wissen nur soviel mit Bestimmtheit, daß er ähnliche Unebenheiten darbieten muß, wie das aus dem Meer hervorragende Land, und sehen in den oceanischen Inseln, wie sie vereinzelt, sowie in Haufen und Reihen auftreten, die Gipfel und Rücken unterseeischer Gebirge, die mit Thälern und Senken auf ähnliche Art wechseln mögen, wie beim Festland, und die man ehedem zur Ausspinnung der Vorstellung von einem Zusammenhang aller Gebirge benützte, in welchem sie gleichsam „das Knochengerüste“ der Erde darstellen sollten! Uebrigens müssen wir hier die Inseln vorzugsweise, die oceanischen, sorgfältig von den Gestadeinseln unterscheiden, welche nur als abgelöste Glieder der Nachbarfesten erscheinen, sei es daß es nicht zu einer kontinentalen Vereinigung gekommen ist, sei es daß sie wirklich erst wieder durch Meeresdurchbrüche abgetrennt worden sind, obgleich, in letztlicher Betrachtung, alle Gestadeinseln und Festländer nur als ebensolche Er-

hebungen der festen Erdrinde erscheinen, wie die oceanischen Inseln und Inselfluren. Unter diesen stellen sich wieder die hohen vulkanischen Inseln, welche, sei es daß sie noch Heerde der vulkanischen Thätigkeit sind oder nicht, durch ihre Höhe und Gestalt sich auszeichnen, den flachen niedrigen Inseln gegenüber, welche vorzugsweise von der schon früher betrachteten Thätigkeit gewisser Seethiere herrühren, sofern dieselben untermeerische Höhen vollends bis an die Luft ausgebaut haben. Die Unzahl der niedrigen Inseln des großen Oceans zwischen den Tropen hat sicherlich diesen Ursprung, da jene Pflanzenthiere (Korallenthiere, Madreporen) eben der Tropenwelt angehören; eben daher ist jene Inselbildung auf diese Zone beschränkt, zugleich aber ist dadurch eine wahrhafte große Gebirgszone auf dem Grund des größten der Meere angezeigt, da kaum anzunehmen ist, daß die Thiere sie vom Grund auf gebaut haben sollten, und da sie auch mit hohen Inseln wechseln, in welchen die plutonische Hebung den Meeresspiegel selbst überstiegen hat. Wie die Seen sehr ungleichförmig auf dem Festland vertheilt sind, so daß wir seenreiche Gegenden, ganze Seezonen in Hochland und Tiefland zu erwähnen hatten, so die Inseln im Weltmeer, und so sticht z. B. der atlantische Ocean auffallend durch Mangel an Inseln gegen den großen, sowie das schwarze Meer gegen das ägeische Meer ab. Auch nach der stofflichen Beschaffenheit des Bodens bietet der Meeresgrund ohne Zweifel ähnliche Mannigfaltigkeit dar, wie das Festland; die freilich nur den Küsten entlang angestellten Sonden zeigen bald nackten Fels, bald Meerpflanzen und Zoophyten, bald Sand, bald grundlosen Schlamm.

Da wir die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche im Zusammenhang dem vorletzten Abschnitt vorbehalten, so sind uns hier noch die Bewegungen übrig, in welchen das flüssige Element fortwährend begriffen ist. Sie kommen auf zweierlei zurück, Wellenbewegung und (fortschreitende) Strömung; bei beiden aber ist die kosmische Erregung des Weltmeers im Spiel, die Fluth und Ebbe, die wir nach ihren

kosmischen Ursachen schon im vierten Abschnitt betrachtet haben. Diese Gezeiten bestehen für jeden einzelnen Ort in einem abwechselnden Steigen und Fallen des Meers, so daß binnen eines Tags zweimal höchster und zweimal tiefster Stand eintritt, wobei an den Küsten der Strand abwechselnd überschwemmt und trocken gelegt wird; für die ganze Erde ist es ein Umlauf einer doppelbergigen Fluthwelle von Osten nach Westen, oder vielmehr zweier solcher Fluthwellen, wovon die eine, die der Sonne, in 24 Stunden, die andere, die Fluthwelle des Monds, in etwas über 24 Stunden die Erde umkreist. In ihrer höchsten Regelmäßigkeit und Stetigkeit würde aber die Erscheinung nur vor sich gehen, wenn die Erdoberfläche von einer stetigen Wasserfläche rund herum eingenommen wäre; wir haben daher noch den die regelmäßige Bewegung hemmenden Einfluß der Küsten nach Bessels Anleitung ins Auge zu fassen, zugleich mit dem Beitrag der Fluthbewegung zu der allgemeinen Meeresströmung.

Das Meer hat nämlich im Allgemeinen eine Strömung von Osten nach Westen, welche zwar nicht ausschließlich, aber vermuthlich dem größeren Theil nach von der Fluthbewegung herrührt, denn indem diese mit den sie verursachenden Gestirnen von Osten nach Westen fortgeht, strömt das Wasser in derselben Richtung um die Erde. Unter den Voraussetzungen, daß das Meer die ganze Erdoberfläche einnehme, daß es unter dem Aequator drei Fuß über den niedrigsten Punkt seiner Oberfläche steige, und daß die Fluthhöhe von da bis zu den Polen stetig abnehme, hat man berechnet, daß das in Fluth begriffene Erdviertel oder ein jeweiliger Fluthberg etwa 100 Kubikmeilen mehr Wasser enthält, als das Ebbethal oder das in Ebbe begriffene Erdviertel, daß also, wenn nach sechs Stunden diese Viertel sich geradezu vertauscht haben, etwa 200 Kubikmeilen Wasser vom einen ins andere übergegangen sind. Diese sehr große Wassermasse (denn der Rauminhalt der größten ägyptischen Pyramide beträgt etwa den millionten Theil einer Kubikmeile), welche annähernd in 6 Stunden von einem Erdviertel ins andere überströmt, ist aber nur wieder ein sehr

kleiner Theil von dem gesammten Wasser des Weltmeers, und da auf dieses die ganze tägliche Bewegung um die Erde sich vertheilt, so ist die Geschwindigkeit jener Strömung bei weitem nicht so groß, wie sie sein würde, wenn sie unmittelbar den Erdumfang in 24 bis 25 Stunden durchliefe. Das Festland aber, welches ihr sich in den Weg setzt, hat den bedeutendsten Einfluß auf ihre Geschwindigkeit und Richtung, dergestalt daß ein mannigfaltiger Inbegriff von Strömungen daraus wird. „So verhindert die Ostküste von Afrika ihr westliches Fortschreiten und giebt ihr eine südwestliche Richtung; nachdem sie sofort die Südspitze von Afrika umgangen, wendet sie sich nördlich, um den Verlust zu ersetzen, den das Wasser durch die nach Westen fortschreitende Fluth am meisten unter dem Aequator erleidet; alsdann geht sie in Richtungen, welche sich mit zunehmender Entfernung derjenigen des Aequators nähern, auf Amerika zu und theilt sich durch die hier statt findende Hemmung in zwei Ströme, von denen einer die Südspitze von Amerika umgeht, der andere in das amerikanische Mittelmeer tritt, dann durch die Bahamastraße mit beträchtlicher Geschwindigkeit sich hindurchdrängt, der Nordküste von Amerika folgt und sich endlich durch den atlantischen Ocean ostwärts bis gegen unsere europäischen Meere bewegt. Bei geringerer Ausdehnung der hemmenden Küsten sind auch ihre Wirkungen weniger umfangreich, im Allgemeinen aber erzeugt jeder Landvorsprung sowie jede Bucht durch den Raum, den sie der vorhandenen Strömung gewährt, ihre eigene Folge und ändert die allgemeine Ursache so vielfach ab, daß die Strömungen des Meeres ein sehr mannigfaltiges Bild gewähren."

Aber auch an den einzelnen Erdorten wird Zeit und Höhe der Fluthen durch den Einfluß des Festlands auf das Fortschreiten der Fluthwelle bedeutend anders, und es kann keine Rede mehr sein von der ebenmäßigen Vertheilung der Fluth und Ebbe nach den Meridianen, wie wir die Grundlage der Erscheinung nach ihrer reinen Mechanik oben darzustellen hatten. Man hat nach den vorliegenden Erfahrungen Karten zur Uebersicht der Fluthwellen gefertigt und darin die Linien

gleichzeitiger Fluthen (Isorrhachien) verzeichnet, welche in der That gänzlich von den Meridianen abweichen nach Art der magnetischen Linien. In einem Meereskanal z. B., der an seinem westlichen Ende mit dem Weltmeer zusammenhängt, muß die Fluth in einer Richtung sich fortpflanzen, welche dem Fortgang derselben im freien Meer geradezu entgegengesetzt ist, und jede Fortpflanzung erfordert Zeit, um so mehr, je größer die Entfernung; so langt eine vom atlantischen Meer ausgehende Fluth am östlichen Ende des britischen Kanals etwa sechs Stunden nach dem Eintritt an der westlichen Oeffnung an, während an den Westküsten von Irland und Portugal, welche dem offenen Ocean entlang von Norden nach Süden gehen, die Fluth fast gleichzeitig sich zeigt; noch verwickelter wird die Erscheinung, wenn sie von zwei verschiedenen Seiten an eine Küste gelangen kann, wie im irischen Meer. Diesen Umständen kann nun auch die Gravitationsrechnung nicht folgen, sondern für einen gegebenen Küstenpunkt muß die Zeit aus der Erfahrung geholt werden, um welche der wirkliche Eintritt der Fluth von der Eintrittszeit abweicht, die ihm zukäme, wenn er frei im Meere läge. Auf ähnliche Art verhält es sich auch mit der Höhe; diese muß sich vergrößern bei einer Hemmung, z. B. an einer von Norden nach Süden streichenden Küste, und wenn überdieß die Küste nicht gerade ist, so vermehren sich die Hindernisse, die sich dem Wiederabfließen des eindringenden Wassers entgegensetzen. So bietet die Bucht von St. Malo, zu welcher das Wasser von Westen freien Zutritt hat, die aber gegen Norden und Osten geschlossen ist, ein Beispiel ungewöhnlich hoher Fluthen (bis zu 50 Fuß über den niedrigsten Meeresstand); an den zerrissenen Küsten Norwegens verstärken sich die Fluthen auf diese Art zu reissenden Strömungen, ja zu wahren Wasserfällen und Strudeln (der Malström, ähnliche Ursachen hat wohl auch die Charybdis in verkleinertem Maßstab). Eingeschlossene Meere zeigen nur unbedeutende Fluth und Ebbe, weil die anziehenden Kräfte, die diese Bewegungen hervorbringen, nur zu einer beträchtlichen Wirkung gelangen, wenn sie eine große zusammenhängende

Wassermasse betreffen; an und für sich stellenweise betrachtet sind nämlich diese Wirkungen außerordentlich gering, und die Anhäufung der kleinen Ursache zu großartiger Wirkung wird eben dadurch hervorgebracht, daß es eine Gesammtwirkung ist, indem jedes Meerestheilchen der Ursache unterworfen ist.

Aus allem dem mag erhellen, wie sehr die kosmische Erregung der Meere von der an sich schon verwickelten Mechanik abweicht, die sie auf einer ganz mit Wasser bedeckten Kugel befolgen würde. Nur in der weiten Wasserfläche unseres größten und offensten Oceans werden daher die reinen Gesetze der Erscheinung annähernd hervortreten; hier nähern sich die Fluthlinien den Meridianen, hier haben die Fluthhöhen so ziemlich ihre eigentliche Größe (was sich auch an den Küsten zeigt, wo nicht besondere Umstände vorwalten), hier nehmen sie von dem Aequator polwärts im Allgemeinen ab, wie es sein muß, wegen des dort senkrechteren Standes der anziehenden Gestirne, denn nach den senkrecht unter ihnen liegenden Punkten streben die Wassertheilchen, wie wir oben gesehen, dort muß also unter sonst gleichen Umständen die größte Anschwellung erfolgen. Merkwürdig ist es, auf welche große Weiten die Fluthwelle in die Flußmündungen eindringt, bei der Elbe z. B. auf 20 Meilen, beim Amazonenstrom auf 150 Meilen, wozu sie mehrere Tage braucht, so daß sich acht verschiedene Fluthen gleichzeitig in gehörigen Zwischenräumen stromaufwärts bewegen sollen.

Wir haben der Fluth und Ebbe auch Antheil an der Wellenbewegung des Meers zugeschrieben. In der That geht das Ansteigen des Wassers am Strand nicht stetig vor sich, sondern unter beständigem Hin- und Herschwanken, denn das beim Ansteigen gegen den Boden stoßende Wasser erhält dadurch beständige Rückstöße, die meerwärts sich fortpflanzen. Allein dieß ist nicht die einzige Ursache des Wellenschlags, vielmehr hat jeder andere Stoß gegen die Wasserfläche die wellenerregende Folge, so vor allem der Wind. Die Mächtigkeit, zu welcher die Erscheinung durch Sturm sich erhebt, brauchen wir nicht näher zu schildern, sondern können uns auf Schil-

derungen und Gemälde von Seestürmen berufen. Wir bemerken nur noch, daß die heftigste Aufregung des Meers nur in eine unbeträchtliche Tiefe sich erstreckt, welche eben die Höhe der Wogen nicht übertrifft, daher Perlfischer in Tiefen von 60 bis 70 Fuß von dem furchtbarsten Toben des Meers keine Spur wahrnahmen.

Schließlich kehren wir zu den Meeresströmungen zurück. Die allgemeine ostwestliche Strömung oder die große Aequatorialströmung, die freilich nur wieder hauptsächlich im großen Ocean durchherrschend auftritt, haben wir bereits aus der Fluthwelle hergeleitet und gesehen, wie sehr sie durch die Vertheilung von Land und Meer verändert wird, so daß besondere Strömungen von fast örtlichem Gepräge daraus hervorgehen. Indeß ist dieß nur die eine Ursache, die bei dem allgemeinen System der Meersströmungen im Spiel ist, zur Aequatorialströmung kommt die Polarströmung. Die Ursache von der Strömung des Wassers von den Polen gegen den Aequator liegt in der Verschiedenheit der Temperatur; indem kälteres und daher dichteres Wasser das wärmere und leichtere vom Grund des Meeres fortwährend verdrängt, weil dasselbe, sowie es selbst sich erwärmt und die Oberfläche verdunstet, neuem kaltem Wasser Platz macht, wird eine fortwährende untere Strömung unterhalten, die von den Polargegenden ausgeht. Hierauf haben denn auch Thermometerbeobachtungen unwidersprechlich geführt, wornach selbst in den Tropen das Meerwasser in bedeutender Tiefe eine eisige Temperatur hat. Strömungen aber, welche Wasser aus höheren Breiten in niedrigere führen, erleiden wieder durch die Axendrehung der Erde eine östliche Ablenkung, denn das Wasser bringt von den Polen eine geringere Geschwindigkeit mit in Gegenden, wo eine größere Geschwindigkeit von Westen nach Osten herrscht, es bleibt also gegen dieses schneller fortgeführte Wasser ostwärts zurück; umgekehrt wäre es bei Strömungen aus niedrigeren Breiten in höhere, das herbeigeführte größere Geschwindigkeit besitzende Wasser eilt dann dem Wasser der höheren Breiten bei der Axendrehung voran. Wir kommen

übrigens auf diese Veränderungen der Richtung durch die Axendrehung der Erde im nächsten Abschnitt bei der Geschichte der Winde zurück, wo dieselben viel auffallender hervortreten als beim Wasser, bei dem sie aber gewiß auch ins Spiel kommen. Wenn wir also in dem Ersatz des durch Verdampfung abgehenden Wassers die Hauptursache der freilich meist der unmittelbaren Wahrnehmung sich entziehenden polaren Unterströmung finden: so kann der Temperaturunterschied benachbarter Meere auch in der Weise beschränktere Strömungen bewirken, daß das wärmere und leichtere, also zu einem höheren Spiegel sich erhebende Wasser oben gegen das kältere abfließt, wie wir schon oben örtliche Abflüsse aus Binnenmeeren von Spiegelunterschieden herleiteten, welche indeß (z. B. beim schwarzen Meer und bei der Ostsee) die dort erwähnten anderweitigen Ursachen haben.

Zu den mannigfaltigen Ursachen der Meeresströmungen gesellt sich auch noch der Wind; beständige Winde aus einer Weltgegend können eine oberflächliche Strömung der Wasser bewirken, oder eine schon vorhandene Strömung von derselben Richtung unterstützen (so tragen wohl die Passatwinde zu der großen Ostwestströmung bei); es sind dieß die sogenannten Triftströmungen, wohin namentlich die antarktische Strömung des großen Oceans gehört, in welcher man den Ursprung des peruanischen Kaltwasserstroms gefunden hat, und der auch nördliche Polarströmungen zur Seite stehen müssen, da der Wind von beiden Polen dem Aequator zu weht, wie wir sehen werden. Wir besitzen zunächst noch ein unvollkommenes Bild von den mannigfaltig gegliederten Strömungen des Weltmeers, namentlich sind die Unterströme nur höchst unvollkommen bekannt, deren Kenntniß erst die ganze Mechanik des Wasserumsatzes vollenden würde. Die einzelnen Strömungen sind sehr verschieden an Breite (bis zu Hunderten von Meilen) und Tiefe, wie an Länge (von der Ostfeste zur Westfeste gehend oder nur auf einen Meeresarm beschränkt) und Geschwindigkeit (die besonders durch Verengerungen erhöht wird, bald größer bald kleiner als die schiffbarer Landströme).

So sind also die Wassermassen der flüssigen Hülle unseres Planeten in einem großartigen und vielgestaltigen Austausch begriffen, eine in der Verfassung der Erdoberfläche gewichtige Thatsache; wir erwähnen noch schließlich zwei hervorstechende Beispiele. Das eine ist der reissende und warme Golfstrom, der warmes Wasser aus den Tropenmeeren an die amerikanischen Küsten hinauf und gegen die europäischen hinüberführt, seine Temperatur übersteigt die des umgebenden atlantischen Meers um mehrere Grade, in der Nähe der Azoren hat sein Wasser noch eine Wintertemperatur von 15 Grad; dabei erweitert er sich mehr und mehr von seiner größten Verengerung bei Florida an; die Breite beträgt hier 9 bis 13 Meilen mit einer Geschwindigkeit von 5 Meilen in der Stunde, 25 Meilen beim Eintritt ins Weltmeer und da, wo er sich mit einer Geschwindigkeit von 3 Meilen in 1 Stunde (5 Fuß in 1 Sekunde) von der Ostküste Amerikas östlich wendet, 40 Meilen, im offenen Ocean endlich 60 Meilen, bei den Azoren noch mit einer Geschwindigkeit von 1 Meile in der Stunde. Man hat ihm einigen Beitrag zu der Ermilderung des Klimas in den Gegenden zugeschrieben, die er durchstreicht. Das entgegengesetzte bietet der peruanische Kaltwasserstrom dar, der aus dem südlichen Eismeer in der Gegend mitten zwischen Südamerika und Australien stammen und erst an der Küste von Chili eine Theilung in einen südlichen Kap Horn umgehenden Strom und einen nördlichen erleiden soll; der letztere wirkt erkältend in den peruanischen Tropengegenden und wendet sich erst um den Aequator ostwärts der allgemeinen Strömung zu; er erstreckt sich in sehr große Tiefen und ist bei Kallao (bei Lima) im Mittel um fast 7 Grad, manchmal um 10 Grad kälter als das umgebende Meer. Besonders ausgezeichnet ist an den arktischen und antarktischen Strömungen das Treibeis, das oft in mächtigen Stücken (Eisinseln) in mittlere Breiten lufterkältend und umnebelt herabkommt.

XIV.

Luft und Wetter.

Kann man schon das Meer eine Hülle der Erde nennen, sofern es den bei weitem größeren Theil der festen Erdrinde bedeckt, so haben wir in der Luft eine zweite eigentliche Hülle, welche in einer mächtigen Schicht Land und Meer zumal umgiebt. Stehen schon durch das flüssige Element die entlegensten Räume der Erdfläche mit einander in natürlichem Verkehr und Austausch, so ist es in noch viel höherem Grad bei der Atmosphäre der Fall mit ihrem noch beweglicheren Element. Aufs engste hängen mit den allgemeinen Hergängen in dem Luftmeer die Wärmeverhältnisse der Erde zusammen, die auf der Wärmeeinstrahlung von Seiten der Sonne beruhen, und wovon der nächste Abschnitt handelt; denn in der mittleren Luftwärme prägen sich vornehmlich die klimatischen Verhältnisse der Erdräume aus, bei denen übrigens Land und Wasser, geographische Breite und Meereshöhe zusammenwirkt, und durch die Strömungen des Luftmeeres stehen die verschiedenen Klimate in inniger Wechselwirkung. Haben wir in einem früheren Abschnitt im unterirdischen Wasser ein wichtiges Moment in der Physik der Erde kennen gelernt, so begegnen wir im meteorischen Wasser einem nicht minder bedeutsamen; durch dieses, die Winde und die Elektrizitätsentwicklung ist der Luftkreis die Werkstätte des Wetters, zu dessen freilich noch dunkeln Prozessen außer der Sonnenstrahlung keine weiteren kosmischen Einflüsse, weder Constellationen noch Mondphasen, erforderlich sind.

Im Begriff, zunächst die Gashülle der Erde für sich nach räumlicher Ausdehnung und chemischem Gehalt, nach Verhältniß zu Schwere und Licht zu schildern, erinnern wir zuvörderst an die Grundeigenschaften der Gase überhaupt. Was dieselben vor allem kennzeichnet, ist eine Ausdehnsamkeit, die durch Wärmeerhöhung gesteigert wird, und von der sich kaum eine Gränze angeben läßt, vermöge der ein Gas stets in einen noch größeren Raum sich zu verbreiten strebt und in denselben wirklich sich verbreitet, sowie er ihm dargeboten wird und keine entgegenstehende Kraft es daran verhindert; und eine Zusammendrückbarkeit, die mit der Größe des Druckes gleichen Schritt hält und ihre Gränzen erst bei dem Druck findet, wobei ein Gas zur Verflüssigung sich anschickt (eine Gränze, die wir bei jedem Gas voraussetzen dürfen, wenn wir sie auch nur bei einigen erfahrungsmäßig kennen). Beides zusammen giebt die vollkommene Elastizität der Gase mit den weitesten Gränzen (bei vielen festen und flüssigen Körpern, Glas, Wasser ist nämlich allerdings ein hoher Grad von Elastizität vorhanden, aber innerhalb enger Gränzen). Zugleich ergiebt sich aus jenem Grundwesen der weite Spielraum, den die Dichte der Gase hat, in Folge von Aenderungen der Temperatur sowohl als des Drucks, dergestalt daß, wenn auch unter unseren gewöhnlichen Wärme- und Druck-Verhältnissen das schwerste Gas stets noch bedeutend leichter ist als die leichteste Flüssigkeit, doch solche Steigerungen des Drucks und gleichzeitig der Wärme (weil sonst die Verflüssigung der Verdichtung Gränzen setzte) wenigstens sich denken lassen, wobei das Gas jeden beliebigen Grad von Dichte annehmen würde. Im zehnten Abschnitt haben wir näheres von der bedeutenden und regelmäßigen Ausdehnbarkeit durch die Wärme erwähnt; hinsichtlich des Drucks müssen wir hier das Grundgesetz anführen, daß bei einerlei Temperatur die Dichte dem Druck genau verhältnißgleich ist (das berühmte Mariottesche Gesetz, wornach also durch Verdopplung, Halbirung des Drucks auch die Dichte des Gases verdoppelt, halbirt wird, wofern der Wärmezustand nicht zugleich sich verändert hat). Endlich ist noch das

Gesetz oder die Thatsache zu nennen, wornach zwei verschiedene Gase von einerlei oder verschiedener Dichte, welche miteinander in Berührung stehen, stets nach Verfluß von einiger Zeit sich so vollkommen gemengt haben, daß in jedem kleinsten Massentheil beide Gase und überall in demselben Verhältniß der Menge vorhanden sind, wenn auch etwa anfangs ein vorübergehender Zustand eingetreten ist, bei welchem das leichtere Gas eine Schicht über dem schwereren gebildet hat (Diffusion der Gase). Jedes der gemengten Gase verhält sich dann nach Raumerfüllung und Druck so, wie wenn es allein vorhanden wäre, und der Gesammtdruck, den das Gasgemenge ausübt, ist die Summe der einzelnen Drucke (Daltons Gesetz.)

Ihrem chemischen Grundwesen nach ist die Atmosphäre ein Gemenge aus zwei Gasen, welche noch kein menschliches Mittel in einen anderen Zustand übergeführt hat, welche zwar mehrere chemische Verbindungen einzugehen vermögen (darunter die Stickstoff- oder Salpetersäure) aber nur unter ganz besonders geeigneten Umständen; Stickgas und Sauergas (Lebensluft) sind überall auf der Erde und immer und was auch die anderweitigen unwesentlichen Beimengungen sein mögen, in demselben Verhältniß gemengt, wornach in runder Zahl $1/5$ Sauerstoff auf $4/5$ Stickstoff kommt (dem Rauminhalt nach, aber auch nahezu dem Gewicht nach, da beide Gase in der Dichte nicht viel sich unterscheiden, Stickgas ist etwas leichter). Die Thatsache des überall gleichen Mengungsverhältnisses erleidet nur fast verschwindende Ausnahmen oder Verschiedenheiten, von denen wir Umgang nehmen dürfen und höchstens zu bemerken haben, daß der Sauerstoffgehalt auf offenem Meer etwas geringer zu sein scheint, was von der Verschluckung dieses Gases durchs Wasser hergeleitet wird, und daß in der nächsten Umgebung einer beständigen Stickgasquelle die Menge dieses Gases beträchtlicher sein muß, was übrigens eine überaus vereinzelte Erscheinung ist, welche deßhalb auch auf den Stickstoffgehalt im Ganzen gänzlich einflußlos sein muß. Nach obigem läßt sich auch nichts anderes erwarten,

als ein wenigstens sehr nahezu gleiches Mengungsverhältniß; eher aber könnte es räthselhaft erscheinen, daß sich dieses nämliche Verhältniß fortwährend erhält, weil es in der That allverbreitete Hergänge giebt, welche einen namhaften Abgang des einen der beiden Gase herbeiführen, des Sauerstoffs, während das andere Gas, soviel bekannt, bei keinem Hergang verwendet wird. Alle Verbrennungen, alle thierischen Lebensprozesse nehmen Sauerstoff aus der Luft und geben Wasserdampf und Kohlensäure zurück. Obwohl man Berechnungen angestellt hat, wornach z. B. die Menge von Luft, die nur 1/10 auf 100 Raumtheile ausmachte, das gesammte Menschengeschlecht auf 10000 Jahre mit Sauerstoff sollte versorgen können, so können wir doch nicht glauben, daß der Gesammtabgang des Sauerstoffs auf längere Zeiträume der chemischen Analyse sich entziehen dürfte, und glauben vielmehr an Ausgleichung des Abgangs durch Wiederersatz, zumal da ein solcher im Pflanzenleben wirklich gegeben ist, sofern die Pflanzen die Kohlensäure der Luft zersetzen, die Kohle behalten und Sauerstoff abgeben (der sogenannte Kreislauf des Sauerstoffs).

Mit der letzten Betrachtung sind wir bereits auf die Gasbeimengungen zu sprechen gekommen, die wir in der Atmosphäre jedenfalls zu erwarten haben wegen der zahlreichen Entwicklungen anderer gasigen Stoffe, die an der Erdoberfläche stets von statten gehen. Indeß sind nur zwei derselben allgemein und in merklicher Menge verbreitet, Wasserdampf vor allem, auf den wir später zurückkommen werden, in geringerem Maß Kohlensäure, aber begreiflicher Weise nicht in gleichbleibendem Verhältniß, sondern nach Raum und Zeit in bedeutend wechselnden Mengen; über Meeren muß die Luft mehr Wasserdampf enthalten, desgleichen mehr bei höherer Temperatur, da die Verdampfung mit der Wärme zunimmt; in altvulkanischen Mofettengegenden muß der Kohlensäuregehalt größer sein als sonst, über Wasser geringer, weil dieses Gas in noch höherem Maß als Sauerstoff vom Wasser verschluckt wird. Uebrigens ist der Gehalt an Kohlensäure im Allgemeinen gering, man schätzt die Menge der gesammten

Kohlensäure in der Atmosphäre nach durchschnittlichem Anschlag auf die, welche nicht ganz 2 Kubikmeilen Steinkohle liefern würden. Von anderen Gasen, welche nach dem elften Abschnitt aus der Erde sich entwickeln (Wasserstoffgas, Kohlen-, Schwefel-Wasserstoffgas u. a.) oder bei der Verwesung (Ammoniak) sich bilden, müssen allerdings Spuren in der ganzen Atmosphäre sich verbreiten, aber sie verschwinden zusehr in der Masse, als daß die Chemie sie anders als sehr vorübergehend oder örtlich entdecken könnte; so auch an den Meeresküsten Spuren von Kochsalz in Folge der Verdampfung, im Gewitterwasser Spuren von Salpetersäure, die sich aus den Grundbestandtheilen der Luft durch den elektrischen Funken bildet. Das wahre Wesen endlich der in der Luft sich verbreiten sollenden Krankheitsstoffe, Miasmen genannt, hat sich bis jetzt jeder Nachforschung entzogen; vielleicht darf man nicht sowohl an besondere gasartige Träger derselben denken, und muß vielmehr die Erzeugung der Krankheit von der Wirkung schädlicher Gase (Sumpfluft, Schwefelwasserstoffgas) auf den Körper herleiten, so daß Orte, wo sich solche in Menge bilden, Heerde eines von da ausgehenden und durch Ansteckung sich weiter verbreitenden Krankheitsprozesses würden.

Vor der räumlichen Ausdehnung der Atmosphäre müssen wir von dem Luftdruck sprechen, welcher zur Schwere und Schwungkraft als eine weitere tellurische Kraft sich gesellt, ja nächst der ersteren die größte Rolle an der Erdoberfläche spielt. Die Anziehung der Erde hält nicht nur die Lufthülle an der Erde fest, ihre Ausdehnsamkeit überwindend, sondern sie bewirkt auch den Druck, welchen die Luft überall ausübt, und der, gleichwie im Meer, von der Oberfläche (der äußeren Gränze der Atmosphäre) an nach unten zunimmt, weßhalb er in den verschiedenen Stockwerken des Festlands verschieden ist. Er ist bekanntermaßen an jedem Ort der Erde so groß, daß er der Quecksilbersäule des Barometers Gleichgewicht hält (nach dem jeweiligen Stande desselben), mit anderen Worten, jede Fläche z. B. von 1 Quadratzoll wird an diesem Ort von der Luft mit einem Gewicht belastet gleich dem einer

Quecksilbersäule, deren Grundfläche 1 Quadratzoll und deren Höhe dem dermaligen Barometerstand gleich ist. Die **Veränderlichkeit des Luftdrucks** nämlich und damit des ihn messenden Barometerstands ist eine ebenso bekannte Thatsache; sie nöthigt für einen jeden Ort dessen **mittleren Barometerstand** aus Vergleichung vieler einzelner Beobachtungen herzuleiten, welcher dann für diesen Ort eine ebenso kennzeichnende Größe ist, wie seine mittlere Temperatur, die Länge seines Sekundenpendels u. dgl. Wir werden im meteorologischen Theil dieses Abschnitts auf die Schwankungen des Luftdrucks zurückkommen müssen; eine ihrer Ursachen läßt sich aber bereits nach dem Daltonischen Gesetz einsehen, denn nach diesem setzt sich der Luftdruck zusammen aus dem Druck einer Stickstoff- und Sauerstoffatmosphäre nicht nur, sondern auch einer Wasserdampf- und Kohlensäureatmosphäre, und man kann den Mengungsverhältnissen gemäß berechnen, was vom Gesammtdruck auf jede dieser Atmosphären kommt; daraus folgt aber, daß die große Veränderlichkeit des Dampfgehalts bereits eine Quelle von Aenderungen des Luftdrucks sein muß.

Man könnte erwarten, daß in einerlei Meereshöhe überall derselbe mittlere Barometerstand statt fände (wenigstens wenn man dabei die Verschiedenheit der Schwere nach der geographischen Breite in Rechnung zieht, von welcher im zweiten Abschnitt die Rede war), namentlich also, daß der **mittlere Luftdruck im Meeresspiegel für die ganze Erde gleich** wäre. Allein dem ist nicht so, der Meerbarometerstand nimmt vielmehr (unter Berücksichtigung der Schwere) vom Aequator bis etwa zum 30sten Breitegrad zu von 336 bis 338½ Pariserlinien und von da polwärts wieder ab bis 333½; wenn man aber nach durchschnittlichem Anschlag den Druck der Dampfatmosphäre in Abzug bringt, deren Größe vom Aequator polwärts mit der durch die Wärme bedingten Stärke der Verdunstung abnimmt, so gestaltet sich der vom bloßen Druck der trockenen Luft abhängige mittlere Barometerstand am Meeresspiegel keineswegs gleichmäßiger, vielmehr zeigen sich noch beträchtlichere Unterschiede nach der geogra-

phischen Breite, dergestalt daß er bis über den 45sten Breitegrad hinaus von 321 bis 332 Pariserlinien zunimmt und dann wieder (aber nur sehr wenig) abnimmt, während der wirkliche Barometerstand mit Einschluß des Dampfdrucks in der Gegend der Wendekreise am größten ist. Die merkwürdige Erniedrigung am Aequator rührt nach Humboldt von dem aufsteigenden Luftstrom her, einer Folge der höheren Temperatur (wovon bei den Bewegungen der Atmosphäre weiter die Rede sein wird). Man kann somit als „normalen“ mittleren Barometerstand am Meeresspiegel 337½ Pariserlinien (gewöhnlich 28 Zoll) annehmen, gleichsam als geographisches Mittel der mittleren Barometerstände; davon kommen alsdann auf den Stickstoff 250,6 auf den Sauerstoff 84,6, auf die Kohlensäure 0,2, auf den Wasserdampf 2,1 Linien (nach durchschnittlichen Verhältnissen bei den letzteren Gasen). Bei einem Barometerstand von 28 Zoll und null Grad Wärme ist die Luft dem specifischen Gewicht nach 770mal leichter als Wasser bei seiner größten Dichtigkeit.

Vermöge des Mariotteschen Gesetzes nimmt Druck und Dichte zumal mit der Erhebung über den Meeresspiegel ab, allein in Wirklichkeit geht diese Abnahme nicht nach dem reinen Mariotteschen Gesetz vor sich, welches einerlei Temperatur voraussetzt. Denn diese nimmt ihrerseits mit der Höhe gleichfalls ab nach einem noch unbekannten Gesetz (auf die Ursachen und Folgen kommen wir weiter unten zu sprechen), und überdieß wirkt die Schwere nicht mit derselben Stärke auf die über einander befindlichen Luftschichten, weil die Schwere mit der Höhe ebenfalls abnimmt (nach dem bekannten Gesetz der anziehenden Kräfte). Unter Voraussetzung gleicher Schwere und Temperatur ließe sich das Gesetz, wornach der mittlere Barometerstand mit zunehmender Höhe abnehmen müßte, genau angeben; er würde nämlich stets um denselben Theil seiner selbst abnehmen, wenn man sich um gleich viel erhöbe, z. B. von 1000 zu 1000 Fuß Höhe (bei einer gemeinschaftlichen Temperatur von 0 Grad) je um $^1/_{25}$, dergestalt daß der Barometerstand in einer Höhe von 1000 Fuß über dem Meer

324 Linien betrüge, wenn er am letzteren 337½ ist, in einer Höhe von 2000 Fuß 311 Linien u. s. w. Hierauf gründet sich in der That die Höhenmessung durch Barometerbeobachtungen, indem man dann diese erste Annäherung durch die Rücksicht auf die Abnahme der Wärme und Schwere verbessert, so gut es nach den gegenwärtigen Kenntnissen vom ersteren Umstand geht. Wenn man nach dem reinen Mariottschen Gesetz in obiger Näherungsweise Druck und Dichtigkeit der Atmosphäre in größeren Höhen berechnet, so findet man für die Höhe von 8 Meilen einen Barometerstand von bereits weniger als $^1/_5$ Linie mit einer mehr als 1750fachen Verdünnung (im Vergleich mit der Luftdichte an der Erdoberfläche, also beträchtlicher, als die besten Luftpumpen sie bewerkstelligen), und bei 10 Meilen kommt eine 10000mal kleinere Dichte mit einem nur $^3/_{100}$ Linien betragenden, also kaum noch beobachtbaren Barometerstand heraus. Man wollte ebenso auch abwärts steigen, um den Druck und die Dichte der Luft im Inneren der Erde zu berechnen, wobei sich in der Tiefe von 1 Meile ein Barometerstand von fast 6 Fuß, in der Tiefe von 10 Meilen ein Barometerstand von mehr als einer Meile mit einer die des Quecksilbers übertreffenden Dichte ergiebt; allein diese Ergebnisse wollen nichts besagen, wegen der außerordentlichen Wärmezunahme nach innen, durch welche die Dichte wieder eine ganz andere werden muß. Dagegen können die ersteren Ergebnisse einen ungefähren Anhaltspunkt gewähren für die folgende Frage.

Es ist nach dem Vorhergehenden klar, daß die Frage nach der Höhe der Atmosphäre nur unsicher sich beantworten läßt. Mit etwas mehr Sicherheit läßt sich ihre Masse berechnen, da man den Druck auf jede Fläche, also auch auf die ganze Erdfläche mittelst des Barometers berechnen kann; freilich kann man dabei die verschiedenen Höhen des Festlands nicht genau berücksichtigen, auch ist der Gesammtdruck der Luft auf die Erdfläche keineswegs genau dem Gewicht der Atmosphäre gleich, weil sie eine Kugelschale bildet, deren obere Gränzfläche größer ist als die untere. Es ergiebt sich, daß

die Masse der Gashülle ungefähr den millionten Theil von der Gesammtmasse der Erde bildet, die wir schon im vierten Abschnitt in Zentnern ausgewerthet haben. Besäße nun die Luft bis an ihre Gränze die Dichte ihrer untersten Schichten, so würde ihre Höhe die des Barometers am Meeresspiegel sovielmal übertreffen, als das spezifische Gewicht des Quecksilbers dasjenige der Luft, d. h. über 10000mal, sie würde also über 24000 Fuß oder etwa eine geographische Meile betragen. Niedriger kann also die Atmosphäre keinesfalls sein, dieser Betrag wird aber jedenfalls von dem wirklichen weit übertroffen. Man hat ebenso einen Betrag ermittelt, welcher von dem wirklichen weit nicht erreicht wird, davon ausgehend, daß die Atmosphäre in keinem Fall weiter reichen könnte als bis dahin, wo die Schwungkraft, welche mit der Höhe zunimmt, die Schwere, welche mit der Höhe abnimmt, zu übertreffen beginnt; dieß tritt unter dem Aequator in einer Höhe von 4820 Meilen ein. Man hat also allerdings ein schlechthiniges Kleinstes und ein ebenso schlechthiniges Größtes, aber wie weit liegen dieselben auseinander! Deßhalb ist man an Schätzungen derjenigen Höhe gewiesen, bei welcher die Dichte der Luft verschwindend klein wird, und hierüber können blos Schätzungen angestellt werden, weil das Gesetz der Dichtigkeitsabnahme unbekannt ist (so die obige nach dem bloßen Mariotteschen Gesetz). Auch hat man die Dämmerung zu Rathe gezogen, indem man von der beobachteten Gränze der Dämmerung nach Sonnenuntergang auf die Höhe der obersten Schichten, welche noch Licht zurückwerfen, zu schließen suchte. Allein hier wie dort haben verschiedene Forscher sehr verschiedene Ergebnisse herausgebracht, der eine z. B. giebt nach der Dämmerung 9½ Meilen an, am übereinstimmendsten mit der gewöhnlichen Annahme von 10 bis 12 Meilen, die anderen geben weniger, bis zu 4 Meilen herab, und ebenso weichen diejenigen, welche nach Annahmen über jenes unbekannte Gesetz zu Werk giengen, von 8 bis 27 Meilen auseinander. Etwas bestimmtes anzugeben ist in der That schon deßwegen nicht möglich, weil eine scharfe Gränze da

gar nicht vorhanden sein kann, wo eine stetige Abnahme zum Unmerklichen statt findet, und auch der Begriff, die wahre Gränze der Atmosphäre müßte da sein, wo die Schwere nicht mehr im Stande ist, die Lufttheilchen festzuhalten, die sich vermöge ihres Ausdehuungsbestrebens in den leeren Raum zu zerstreuen suchen, ist nicht geeignet mehr Licht zu geben, da die durch Druck und Wärme bedingte Ausdehnsamkeit selbst zum Verschwindendkleinen abnimmt.

Uebrigens kann die Lufthülle nicht überall gleich hoch, vielmehr muß sie beträchtlich höher am Aequator sein, als an den Polen. Denn die Schwungkraft, welche die sphäroidische Gestalt der Erde überhaupt und der Meeresflächen insbesondere bedingt, mußte bei der Atmosphäre in noch höherem Grad wirksam sein, da sie an ihrer Außenfläche größer und die entgegenstehende Kraft der Schwere kleiner ist. Indeß giebt die Mechanik eine Gränze an, welche die Abplattung einer Gashülle nicht übersteigen kann, ohne daß am Aequator die Zerstreuung in den Raum durch die überwiegende Schwungkraft begänne; diese Gränze beträgt $1/3$, d. h. der Polarhalbmesser der Atmosphäre muß vom Aequatorialhalbmesser um weniger, als dessen dritter Theil beträgt, übertroffen werden. Die Versuche, auch dieß näher zu bestimmen, weichen ebenfalls sehr von einander ab (von $1/254$ bis $1/177$).

Endlich gehört hieher das Verhalten der Atmosphäre zum Sonnenlicht. Sie läßt wie alle durchsichtigen Körper das Licht in jedem Punkt dem größeren Theil nach durch, wirft aber auch einen kleineren Theil zurück, woraus übrigens doch wegen der Größe des zurückwerfenden Körpers eine beträchtliche Lichtmenge erwächst. Darauf beruht nicht blos die allgemeine Tageshelle (auch da, wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint), und die Dämmerung, welche von nichts anderem herrührt, als von der Zurückwerfung des Lichts, das noch die oberen Gegenden der Atmosphäre trifft, wenn die unteren nicht mehr beschienen werden, sondern auch die blaue Farbe des heiteren Himmels. Denn wir können uns nicht dazu verstehen, mit Göthe im Himmelblau „das durch

ein erleuchtetes Mittel gesehene Dunkel des Weltraums“ zu erblicken, sondern wir halten dasselbe für die Farbe der Atmosphäre, die darauf beruht, daß die Atmosphäre eben nur oder vorherrschend blaues Licht (Lichtschwingungen von der Geschwindigkeit, welche die Empfindung blau giebt) zurückwirft, gleichwie der Indigo. Die blaue Farbe wird aber nur bei einer sehr dicken Luftschicht merklich, und eine dünnere Luftschicht erscheint wie eine sehr dünne Scheibe blauen Glases fast farblos; es giebt aber wirklich Gase, die schon in kleinen Massen ihre natürliche Farbe zeigen, wie das grüngelbe Chlorgas, der veilchenfarbige Joddampf u. s. w. Ebendeßhalb erscheint die Sonne selbst gelb, da nach Abzug einer Menge blauen Lichts vom weißen Sonnenlicht das Gelbe das Uebergewicht bekommt. Feiner Niederschlag von Wasserdampf, der in der Atmosphäre verbreitet ist, giebt dem Blau einen weißlichen Ton, je reiner daher die Luft und je dicker die Schicht ist, wie in den Tropen, in desto satterem Blau erscheint der Himmel; wiederum aber, je geringer die Höhe der Luftschicht, desto dunkler oder schwärzlicher wird der Ton, desto nackter gleichsam tritt auf hohen Bergen die Nacht des Weltraums hervor.

Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird das Licht gebrochen, wie bei jedem Uebergang aus einem dünneren Mittel in ein dichteres, und diese Brechung ist von den obersten dünnsten bis zu den untersten dichtesten Schichten eine fortlaufende, so daß ein Strahl allmälig gegen die Erdfläche hin sich krümmt. Da nun das Auge den Gegenstand in der Richtung sieht, welche dieser krummlinige Strahl zuletzt hat, so erscheinen alle Gegenstände des Weltraums höher als sie wirklich sind, zumal wenn sie sich im Horizont befinden. Diese (astronomische) Strahlenbrechung hat insbesondere die Folge, daß die Sonne schon oder noch über dem Horizont zu stehen scheint, wenn sie noch nicht aufgegangen oder bereits vollständig untergegangen ist; eine Verlängerung des Sonnenscheins oder der Tageshelle, welche wiederum um so bedeutender ist, je paralleler dem Horizont die scheinbare Bewegung der Sonne erfolgt, besonders also in den Polarländern (an den Polen

selbst macht sie ungefähr 106 Stunden aus, am Aequator 7 Minuten). Desgleichen erscheinen entfernte irdische Gegenstände durch Strahlenbrechung verändert, da das Licht zwar nicht den ganzen Luftkreis, aber doch Schichten von verschiedener Dichte zu durchlaufen hat, und zwar erhöht oder erniedrigt, je nachdem das Licht aus dünneren in dichtere oder aus dichteren in dünnere Schichten gelangt, und im letzteren Fall können unter besonderen Umständen eigenthümliche Zurückwerfungen entstehen (wie bei Glasprismen), von denen man die wundersamen Erscheinungen der Luftspiegelung herleitet.

Die Dämmerung, deren Ursache wir bereits im Allgemeinen erwähnt haben, dauert bekanntermaßen nicht gleich lang in verschiedenen Zeiten des Jahrs, in Deutschland z. B. haben wir kürzeste Dämmerung um den Anfang des März und gegen die Mitte des Oktober, längste um die Mitte Junis. Für eine Helligkeit, welche das gemeine Bewußtsein noch als Dämmerung anspricht, darf die Sonne nicht weiter als etwa 6 bis 7 Grad unter den Horizont gesunken sein; der Astronom pflegt die Dämmerung weiter auszudehnen bis zu einer Erniedrigung der Sonne um 18 Grad unter den Horizont, womit erst jede Spur von Sonnenlicht verschwindet und die vollständige Nacht eintritt, so daß die kleinsten der überhaupt mit blosem Auge sichtbaren Sterne sich zeigen; dann besteht bei uns im hohen Sommer von Ende Mais bis Mitte Julis die ganze Nacht aus Dämmerung, da die Sonne in diesem Zeitraum jene Tiefe unter dem Horizont nicht erreicht, in Berlin gilt dieß vom 17. Mai bis 25. Juli, in Petersburg vom 20. April bis 20. August. Denn wie die Dauer der Dämmerung an einem und demselben Ort das Jahr hindurch nicht gleichbleibt, so ist ihre Dauer wiederum verschieden nach der geographischen Breite, nämlich um so größer, je größer diese ist. An den Polen erreicht sie ihr Größtes mit einer Dauer von 52 Tagen um die Zeit der Nachtgleichen; am Nordpol z. B. dauert sie nach dem Untergang der Sonne, der wegen der Strahlenbrechung über volle zwei Tage nach der Herbstnachtgleiche eintritt, bis zum 15. November, wo erst vollstän-

dige Dunkelheit eintritt und bis zum 27. Januar währt, mit diesem zeigen sich die ersten Spuren der nicht minder langen Morgendämmerung, die zu Anfang des März bereits die Sterne auslöscht und wieder über zwei Tage vor der Frühlingsnachtgleiche mit dem Aufgang der Sonne endet. Am Aequator ist die Dämmerung (wie auch die Verlängerung des Tags durch Strahlenbrechung) am kleinsten, dergestalt daß nicht nur die vollkommene Nacht hier einen weit größeren Theil des Jahrs ausmacht, sondern auch der volle Tag (mit Sonnenschein) eine etwas kleinere Summe liefert, als an den Polen; während aber dort alle 24 Stunden die vier Zustände wechseln, folgen sie sich hier als ebensoviele Jahreszeiten. Diese Umstände gehören wesentlich dazu, um das Bild von den Jahreszeiten in der Polarzone zu vervollständigen, welches wir im dritten Abschnitt nach dem blosen Sonnenstand ohne Rücksicht auf die atmosphärischen Verhältnisse entworfen haben.

Uebrigens ist die Ursache von den geographischen Unterschieden in der Dämmerungsdauer leicht einzusehen. Es kommt darauf an, in welcher Zeit die Sonne eine gewisse Tiefe unter dem Horizont erreicht (sei es nach der volksthümlichen oder nach der astronomischen Ansicht von der Dämmerung); diese Zeit dauert aber um so kürzer, je senkrechter der scheinbare Lauf der Sonne zum Horizont ist, und deßhalb muß das Kleinste am Aequator stattfinden, dagegen um so länger, je paralleler zum Horizont die Sonne sich bewegt, weßhalb das Größte an den Polen stattfinden muß. Minder leicht begreift sich der Unterschied, den die verschiedenen Jahrszeiten an einem und demselben Ort darbieten, wo doch der Winkel der täglichen Scheinbahnen der Gestirne mit dem Horizont derselbe bleibt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne sich erhebt und sinkt, hängt hier lediglich von ihrer jeweiligen Abweichung vom Aequator ab, und man findet insbesondere bei uns eine südliche Abweichung von fast 7 Grad für die Bedingung der kürzesten Dämmerung. Die strenge Theorie derselben war in der That ehedem Gegenstand einer berühmten mathematischen Aufgabe; soviel aber läßt sich noch unschwer einsehen, daß im

Allgemeinen, je kleiner die Abweichung der Sonne, je größer also ihr scheinbarer Tagekreis ist, desto größer ihre scheinbare Geschwindigkeit sein muß, vermöge deren also eine gewisse Tiefe unter dem Horizont in um so kürzerer Zeit erreicht wird. Daß dieses Prinzip für die verschiedenen Breiten sich in etwas berichtigt, geht aus obiger Angabe des mathematischen Ergebnisses für die süddeutschen Breiten hervor.

Die nähere Erörterung über die Temperaturverhältnisse der Atmosphäre, wovon wir bereits die Thatsache von der beträchtlichen Wärmeabnahme nach oben zu erwähnen hatten, behalten wir dem nächsten Abschnitt vor im Zusammenhang mit den oberflächlichen Wärmeverhältnissen unseres Planeten überhaupt, und gehen jetzt zu den meteorischen Hergängen und zu der Wetterfrage über, wobei den Luftströmungen und atmosphärischen Niederschlägen die bedeutendste Rolle zukommt. Freilich hängen sie selbst von den Wärmeverhältnissen der Erdoberfläche ab, während sie ihrerseits wieder bebedeutenden Einfluß auf die Wärmevertheilung haben und gewissermaßen einen Wärmeaustausch zwischen verschiedenen Erdräumen begründen, so daß wir hier in einen Kreis von Wechselwirkung gerathen, welcher nicht nur die Erforschung der Ursachen und Gesetze erschwert, sondern selbst die Darstellung dessen, was bis jetzt erforscht ist. Wir beginnen aber die meteorologische Erörterung mit den Winden, deren Wechsel vorzugsweise unseren Witterungswechsel begründet, indem sie kalte Luft in warme, warme Luft in kalte Landstriche, meteorisches Wasser aus den Räumen stärkerer Verdampfung in trockenere Räume führen u. s. w.

Die Winde sind Bewegungen der Luft zu Herstellung eines gestörten Gleichgewichts hinsichtlich der Dichtigkeit; ein vollkommenes Gleichgewicht könnte in der Atmosphäre blos bestehen, wenn überall in gleicher Meereshöhe die Luft gleich dicht und jede höhere Schicht dünner als die tiefere wäre. Vermöge der so verschiedenen Temperaturen in den verschiedenen Räumen der Erdoberfläche ist daher jenes Gleichgewicht fortwährend gestört, und die Grundbedingung für die Entstehung

der Winde besteht einfach darin, daß zwei Räume von verschiedener Luftwärme in Verbindung mit einander stehen. Alsdann findet immer eine gedoppelte Luftströmung statt, unten strömt die dichtere kältere Luft aus dem kälteren in den wärmeren, der Unterstrom, oben die dünnere wärmere Luft aus dem wärmeren in den kälteren Raum, der Oberstrom, und mit diesen wagrechten Strömungen verbinden sich senkrechte Strömungen, indem die wärmere Luft erst aufwärts steigt, der aufsteigende Luftstrom, die oben erkaltete Luft aber weiterhin sich wieder herabsenkt, der niedersteigende Luftstrom, zusammen eine Art von Kreislauf bildend. Je größer der Wärmeunterschied, desto mächtiger ist der Luftaustausch; die Geschwindigkeit und Gewalt des Windes hängt, wie die Dicke und Breite der beiden Schichten, in welchen die entgegengesetzten Strömungen vor sich gehen, von jenem, aber auch von anderen Umständen ab, unter welchen die Verengerung des Windbetts in Thälern an die Stromschnellen erinnern kann; Richtung und Stärke wird wie bei Wasserströmungen durch Hindernisse (Gebirge) mannigfaltig verändert.

Bei manchen örtlichen Winden tritt der bezeichnete Hergang sehr einfach und deutlich hervor. Dahin gehört z. B. der tägliche Wechsel von Land- und Seewind an den Küsten, indem der uns immer zunächst fühlbare Unterstrom Landwind oder Seewind ist, jenachdem die höhere Temperatur dem Meer oder dem Lande zukommt; ersteres ist aber wirklich in der warmen Jahreszeit bei Nacht, letzteres bei Tag der Fall. Ebenso verhält es sich mit den periodischen Thalwinden in Gebirgsländern, bei Tag strömt die Luft thalaufwärts als sogenannter „Unterwind“, bei Nacht thalabwärts als „Oberwind“. An jedem Feuer, jeder von der Sonne stärker erhitzten Stelle des Bodens läßt sich der aufsteigende Luftstrom zugleich mit dem seitlichen Luftzufluß beobachten, jede gegen die Umgebung erkaltete Stelle zeigt sich als Ausgangspunkt kühler Luftzüge, dergleichen z. B. aus dem Schatten, aus Wäldern, Schluchten und Schachten an warmen Tagen hervorkommen.

Wenn wir uns aber sofort zu einem allgemeineren

Bild der an der Erdoberfläche herrschenden Luftströmungen erheben wollen, so bietet sich auf den ersten Blick eine Verwicklung dar, noch größer als bei den Meeresströmungen. In welche Menge verschieden erwärmter Räume theilt sich die Erdoberfläche ab, wie verschieden sind dieselben mit einander verbunden und gegen einander abgegränzt, welche Menge von Einzelwirkungen finden zur Herstellung von Strömungen zwischen diesen vielgestaltigen Erdräumen statt, wo überdieß der Sonnenstand fortwährend wechselt, wie mannigfaltig sind die Einflüsse der Gebirge auf die Richtung, Schichtung und Geschwindigkeit dieser Strömungen! Wozu noch kommt, daß die Winde theils an sich, theils in Folge der Niederschläge, welche sie veranlassen oder verhindern, auf die Luftwärme der verschiedenen Erdräume Einfluß haben, so daß der Kreis der Wechselwirkung, in welchem Anfang und Ende sich verwischen, die Sache noch mehr verwickelt, welche schon durch die Menge der Einzelwirkungen verwickelt genug ist. Wenn es überhaupt möglich ist, in ein solches Labyrinth von Ursachen und Wirkungen Ordnung zu bringen, so geschieht es auf dem Weg der allmäligen Näherung, indem man erst die Hauptwirkung zu ermitteln und die übrigen Einflüsse als ebensoviele Aenderungen, Störungen hintennach zu berücksichtigen sucht. So entschieden, wie bei den Bewegungen in unserem Sonnensystem, stellt sich nun freilich in anderen Fällen, wo eine Menge von Einzelwirkungen vorhanden ist, eine Hauptwirkung nicht heraus, und nicht immer sind die Störungen so klein, daß die Hauptwirkung für sich schon ein befriedigendes Ergebniß giebt wie dort. Ja unser Fall ist einer der ungünstigsten, aber dennoch giebt es eine Hauptwirkung, von welcher die regelmäßigen Winde in den Tropen, wie der unregelmäßige Windwechsel unserer Gegenden gemeinsame Folgen sind. Sie besteht in der gedoppelten Luftströmung, die an Macht und Ausdehnung alle anderen übertreffen und sie, wie ebensoviele Nebenströme, in sich aufnehmen muß, in der Aequatorial- und Polarströmung, in welcher der Luftaustausch zwischen den wärmsten und kältesten Erdräumen von statten geht.

Ohne Unterlaß ist in den Tropen der aufsteigende Luftstrom geschäftig, und ohne Unterlaß strömt die Luft aus den kälteren Zonen auf jeder der beiden Halbkugeln nach dem Aequator, in einer Schicht, die hier (in der heißen Zone) eine beträchtliche Höhe vom Boden an haben muß; über dieser Schicht strömt alsdann die Luft gleicherweise rund herum nach den Polen zu ab; jenes ist die Polarströmung, dieses die Aequatorialströmung, indem wir dieselben, wie die Winde überhaupt, nach der Ausgangsgegend bezeichnen. Der Aequatorialstrom, welcher in der heißen Zone selbst hoch oben geht, wird sich weiterhin mehr und mehr senken, theils weil die Atmosphäre selbst dem Aequator zu sich bedeutend in die Höhe wölbt, theils weil der warme Luftstrom in den höheren Lufträumen mehr und mehr sich abkühlt. Er wird daher endlich in die unteren Schichten herabkommen und mit dem Polarstrom in Kampf gerathen, denselben verdrängen und wieder von ihm verdrängt werden, aber nicht etwa blos nach oben oder nach unten, vielmehr auch zur Seite, so daß von einer gewissen Breite an die beiden Hauptströmungen theils abwechselnd über- und untereinander sich befinden, theils nebeneinander gleichsam in mächtigen Strombetten wie die Strömungen des Weltmeers einherbrausen. Es wird also in den gemäßigten Zonen rund um die Erde herum immer Meridianstreifen geben, in denen der Polarstrom, sowie solche, in denen der Aequatorialstrom der untere ist, während in der heißen Zone der Polarstrom stets der untere ist, und dieß ist der sogenannte Passat oder vielmehr der untere Passat, indem die damit zugleich vorhandene Gegenströmung mit Recht der obere Passat genannt wird, den man auch am Zug der höchsten Wolken, wie an ostwärts geführter vulkanischer Asche erkennt (z. B. im Jahr 1812 fiel Asche auf Barbados nieder, die von dem Ausbruch des 20 Meilen westlich liegenden Vulkans von St. Vincent herkam).

Diese (unteren) Passate nun wären reine Nordwinde auf der nördlichen, Südwinde auf der südlichen Halbkugel, wenn die Erde keine Axendrehung hätte, vermöge der unter den verschiedenen Breiten verschiedene Geschwindigkeiten stattfinden,

mit welchen alles was zur Erde gehört, Festes, Flüssiges und Gasiges, Meer und Luft und Wolken, von West nach Ost herumgeführt wird. Wenn nun durch die Polarströmung eine Luftmasse aus höheren Breiten in niederere versetzt wird, so hat sie noch nicht die hier herrschende größere Geschwindigkeit, sie wird also nach Westen gegen die sich schneller nach Osten wegdrehende Erdoberfläche zurückbleiben, und dieß giebt eine Luftströmung nach Westen, d. h. einen Ostwind. Diese Richtung bringt aber in Verbindung mit derjenigen vom Pol zum Aequator auf der nördlichen Halbkugel die nordöstliche, auf der südlichen die südöstliche Richtung der (unteren) Passate hervor (versteht sich in allen möglichen Schattirungen von Nord oder Süd- bis zum Ostwind). Auf dieselbe Weise werden dort die Südwinde der Aequatorialströmung zu Südwest- und Westwinden, auf der südlichen die Nordwinde derselben Strömung zu Nordwest- und Westwinden; gelangt nämlich durch sie eine Luftmasse aus niedereren in höhere Breiten, so übertrifft ihre Geschwindigkeit die, welche hier an der Erdoberfläche herrscht, sie eilt derselben nach Osten voran und dieß giebt einen Westwind. Deßhalb ist der obere Passat auf der nördlichen Halbkugel im Allgemeinen ein südwestlicher, auf der südlichen ein nordwestlicher Wind. Wie endlich in höheren Breiten durch das Zusammentreffen des oberen und unteren Passats die wechselnden Winde entstehen, so auch in den niedrigsten Breiten, oder um den Aequator her, wo der Passat der nördlichen Halbkugel dem der südlichen begegnet, so nämlich, daß zur Zeit der größten nördlichen Abweichung der Sonne der Südpassat am weitesten auf die nördliche Halbkugel hinübergreift, und gleicherweise um die Zeit der größten südlichen Abweichung der Sonne der Nordpassat auf die südliche Halbkugel vordringt, während um die Zeit der Nachtgleichen beide zusammen einen reinen verstärkten Ostwind hervorbringen. Dieß ist die Aequatorzone der wechselnden Winde oder der „Windstillen“, indem durch den Zusammenstoß der beiden Passate unter sich und mit dem aufsteigenden Luftstrom veränderliche Winde sammt Stürmen und Windstillen (Kalmen) hervorgehen.

Wenn nun die ganze Erdoberfläche eine gleichmäßige Wasserfläche wäre, mithin die Wärme einer Luftschicht nur von der geographischen Breite und der Meereshöhe abhienge, so würden nicht nur rund um die Erde herum die Passate stets auf dieselbe Weise wehen, d. h. man hätte auf jeder Halbkugel eine vollkommene Passatzone, beide von einander getrennt durch jene Zone wechselnder Winde unmittelbar um den Aequator her: sondern es würde auch von einer gewissen, zwar mit den Jahrszeiten sich ändernden, aber alle Jahre an dieselbe Breite zurückkehrenden Gränze an nach den Polen zu ein regelmäßiger, gänzlich an die Jahreszeiten sich haltender Wechsel der Nordost- und Südwest-Winde stattfinden, so daß in gleichbleibenden Zeiträumen der Nordwind in Ostwind, dieser in Südwind, und dieser in Westwind übergienge, und umgekehrt auf der südlichen Halbkugel. Diese Regelmäßigkeit wird aber nun gestört, beziehungsweise aufgehoben durch die Vertheilung von Wasser und Land an der Erdoberfläche, sowie durch die Vielgestaltigkeit des Landes nach wagrechter und senkrechter Gliederung, nach Bodenart und Pflanzendecke, daher eine Menge von Störungen und Abänderungen der Hauptwirkung, eine Menge von Nebenströmungen, welche den Hauptströmungen mehr oder weniger sich unterordnen.

Nun können die Passatwinde in der heißen Zone nur auf den Oceanen und zwar denjenigen rein hervortreten, die wie der atlantische und vollends der große, bei weitausgedehnter Wasserfläche in der Richtung Ostwest, von einem Pol zum anderen ohne Unterbrechung durch Land sich erstrecken. Anders aber ist es beim indischen Ocean, der noch innerhalb der heißen Zone im Norden von Land begränzt ist, welches wärmer ist als das Meer bei nördlicher Abweichung der Sonne, während dieses bei südlichem Sonnenstand der wärmere Raum ist. Deßhalb findet nun in jenen Gegenden ein jährlicher Windwechsel statt, indem sich auf der nördli- Halkugel der Nordost nach der Frühlingsnachtgleiche in Südwest dreht, und dieser nach der Herbstnachtgleiche wieder in den Nordost zurückkehrt. Da nämlich vom April bis zum Oc-

tober die Länder, welche den indischen Ocean im Norden begränzen, wärmer sind als der Ocean, so muß der untere kältere Luftstrom vom Ocean aufs Land gehen, also der Nordostpassat durch Süd- und Südwestwind verdrängt werden. Auf der südlichen Halbkugel scheint dagegen fast durchweg der Südostpassat zu herrschen, mit welchem die Luftströmung vom Ocean nach Südasien zusammentrifft; die entgegengesetzte würde vom October an Nord und Nordwest geben, wenn sich die höhere Wärme des Meers in dieser Jahrszeit beträchtlich über den Aequator hinaus südwärts erstreckte. Dieß sind die Monsune (Mussone), die somit in der jährlichen Periode ganz dasselbe sind, was die Land- und Seewinde in der täglichen. Aehnliches findet ohne Zweifel auch anderswo statt, z. B. in der afrikanischen Wüste, die bei nördlichem Sonnenstand jedenfalls wärmer ist, als das südliche Hochland, nur daß, wo nicht so weite gleichmäßige Räume dargeboten sind, wie in den weiten Flächen des indischen Meers, die Entwicklung dieser Luftströmungen minder ungestört und regelmäßig von statten geht. So etwas gilt auch von dem westindischen Meer, das außer der kleineren Wasserfläche auch dadurch vom indischen sich unterscheidet, daß es im Norden und Süden von Tropenländern mit mannigfaltiger senkrechter Gliederung umgeben ist; aber ohne Zweifel haben jene Orkane, die dort ihren Sitz haben, in regellosem jähem Zusammenstoß des oberen und unteren Passats ihre Ursache, und deßgleichen die Teifune im südchinesischen Meer, das auf ähnliche Art von Tropenländern auf beiden Seiten umgeben ist. Sollten aber die Wüstenstürme und die Gluthwinde mit Temperaturen bis zu 40 und 44 Grad, die bei ihrem Hervorbrechen aus der afrikanischen Wüste in die umgebenden Länder unter mancherlei gefürchteten Namen bekannt sind (Harmattan, Samum, Sirokko-Föhn bis nach Deutschland sich erstreckend), nicht in eine Klasse mit den zuvor genannten Erscheinungen gehören, als gewaltsame wirbelartige Störungen des Gleichgewichts, hervorgegangen aus jähem Zusammenstoß entgegengesetzter Strömungen, die sofort vermöge ihrer äußersten Heftigkeit dem Grund-

gesetz zum Trotz von heißen zu kühleren Gegenden sich fortpflanzen?

Wenn nun in der heißen Zone auch die Abweichungen des Windlaufs von der einfachen Hauptwirkung im Allgemeinen noch mit einer gewissen Regelmäßigkeit von statten gehen, so kann vollends außerhalb der Tropen, zumal von den Breiten an, wo der Gegensatz der Jahrszeiten mehr und mehr hervortritt, ein regelmäßiger Wechsel der Nordost- und Südwest-Winde (Südost und Nordwest auf der südlichen Halbkugel) mit festen Epochen und Perioden nicht mehr statt finden. Die Zeiträume des Wechsels, wie der Durchlaufung der Windrose werden ungleich, das Drehungsgesetz selbst, das unserem Windwechsel zu Grund liegt (vom Nord durch Ost, Süd West zum Nord zurück), wird durch Rücksprünge übertreten; es ist keine Aussicht vorhanden, unseren Windwechsel auf bestimmtere Gesetze zurückzuführen. Allein eine bedeutsame Wahrnehmung darf es jedenfalls genannt werden, wodurch nunmehr die regelmäßigen Tropenwinde, Passate und Monsune, der Wechsel unserer die Windrose regellos, höchstens nach einer herrschenden Richtung durchlaufenden Winde, sowie endlich die Erscheinungen der Orkane, Teifune und Wüstenstürme, die mit Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Gewittern zu den zerstörendsten Naturereignissen gehören, auf Eine große Grundwirkung atmosphärischer Strömungen zurückgeführt sind.

Wie die Windwirbel, welche die Hauptursache der tropischen Stürme sind, vorzüglich zur Zeit des Wechsels der Jahreszeitenwinde eintreten, der wieder auf Umkehrung von Temperaturverhältnissen beruht, so gehören dahin auch die sogenannten Nachtgleichenstürme der gemäßigten Zone, wobei eben die Umkehrung des Gegensatzes zwischen Land- und Meertemperatur, sowie zwischen der Erwärmung beider Halbkugeln zu Grund liegt. Wie ferner die Stürme der Tropen häufig, aber keineswegs immer von Gewittern begleitet sind, so wirken diese auch wieder sturmerregend und die Gewitterstürme können als zweite Klasse neben den auf Wirbeln beruhenden Stürmen angesehen werden, worauf wir zurückkommen.

Wenn wir endlich bemerkt haben, daß beschränktere Wirkungen gleichwie Nebenströmungen der Hauptwirkung sich unterordnen, so mögen die Windverhältnisse des Mittelmeers und seiner Gestadeländer als Beispiel erwähnt werden, welche auf der Nachbarschaft der Sahara vorzugsweise beruhen. Der hier unablässig aufsteigende Luftstrom hat seine größte Stärke im Sommer und deßhalb herrschen dann in der genannten Gegend die Nordwinde (Bora, Tramontano), während in den Uebergangsjahrszeiten und im Winter die heißen Südwinde durchzubrechen vermögen (Sirokko-Föhn, Libeccio) und namentlich in dem letzteren mehr südwestlichen Wind ohne Zweifel mit dem allgemeinen Südwestpassat ebenso zusammenhängen, wie jene Nordwinde in den Nordostpassat gleichsam einmünden.

Es erledigt sich überdieß durch die große Windmechanik die auch für den folgenden Abschnitt wichtige Frage nach den Ursachen der vorübergehenden Störungen in den Temperaturverhältnissen der Erdoberfläche, die in der auffallenden Ungleichheit der Jahrgänge (nicht nur in den Aeußersten, sondern auch im Mittel) sich zeigen. Wie überhaupt Luftwärme und Niederschlag, diese beiden fühlbarsten Umstände der Witterung, bei uns hauptsächlich von den jedesmaligen Winden in Verbindung mit der Jahrszeit bedingt sind, so daß man geneigt sein muß, den Witterungswechsel unserer Gegenden auf den Wechsel der Winde, nämlich der Winde aus Nord und Ost mit denen aus Süd und West, zurückzuführen: so nehmen wir auch keinen Anstand, die Ungleichheit der Jahrgänge hieherzuziehen. Die Jahre werden ungleich, weil das Eintreten der beiden Hauptströmungen nicht mehr blos vom Sonnenstand und von der geographischen Breite abhängt. Es wird ganz darauf ankommen, ob ein Land, z. B. Deutschland, in einer gewissen Jahrszeit, z. B. im Februar, in einen beharrlichen Polarstrom oder in einen beharrlichen Aequatorialstrom fällt, oder in einen Strich raschen Wechsels zwischen beiden, der an der Gränze zweier nebeneinander herwehender entgegengesetzter Strömungen statt finden wird; ebenso, nur mit dem entgegengesetzten Erfolg, in der entgegengesetzten Jahrszeit, z. B. im

Juni. So müssen nunmehr strenge und gelinde Winter, kühle und heiße Sommer mit einander abwechseln, und dieß in der Art, daß die Erde in der Richtung Ostwest sich in Meridianräume eintheilt, wovon der eine in demselben Jahr einen milden Winter hat, in welchem der andere strenge Kälte erfährt, oder einen kühlen nassen Sommer, während ein anderer trockene Hitze hat. In der That bieten auch die Jahrgänge oft einen verschiedenen Karakter dar in Nordamerika, Westeuropa, Osteuropa, Sibirien, indem eben in solchen Meridianstreifen Kälteperioden von Nord nach Süd, Wärmeperioden von Süd nach Nord sich gleichsam fortpflanzen.

Freilich erheben sich nun erst die Hauptfragen, deren Beantwortung zu einer wenn auch nur erst rohen Vorhersagung der Witterung führen könnte, aber zur Zeit unmöglich ist. Worauf beruht die Dauer der verschiedenen Luftströmungen, wodurch werden besonders die anhaltenden Ströme von der einen oder anderen Hauptrichtung erzeugt, welche die Jahrgänge kennzeichnen? Giebt es nicht hierin vielleicht einen Kreislauf, eine feste Anzahl von Jahren, nach deren Ablauf die Luftströmungen sozusagen in ihre alten Betten zurückkehren? Läßt sich nicht etwa, wenn man blos die Hauptverschiedenheiten der Erdoberfläche berücksichtigt und wiederum von kleineren Störungen absieht, das Gesetz des Windwechsels für jede Jahrszeit nach seinen Perioden näher bestimmen? u. s. w. Dieß sind die Fragen der vernünftigen Wetterkunde, welche den Witterungslauf als einen inwohnend atmosphärischen Hergang betrachtet und kosmische Einflüsse fern hält. Diese haben wir schon im vierten Abschnitt vom Kosmos abgewehrt, und wenn wir uns erlauben, eine unbestimmte Vermuthung über einen anderweitigen Zusammenhang des Witterungslaufs auszusprechen, so denken wir eher an den Erdmagnetismus und an die Veränderungen, welche sich in den „sekulären Bewegungen der Nadel“ aussprechen, nach deren unbekannten Perioden wir im neunten Abschnitt gefragt haben.

Als zweiten Prozeß oder als zweiten Hauptbestandtheil des Einen atmosphärischen Prozesses bezeichnen wir die Be-

wegung des meteorischen Wassers in Verdampfung und Niederschlag, zugleich das Mittelglied in dem Kreislauf des Wassers. Die Menge des in die Luft verdampfenden Wassers hängt einerseits von der Größe und Beschaffenheit der dunstbildenden Fläche, andererseits von der Temperatur und Bewegung der Luft ab, wobei wir an die Lehren des zehnten Abschnitts erinnern, vor allem an den Satz, daß jedem Wärmegrad der Luft eine bestimmte Spannkraft und Menge des Wasserdampfs entspricht, bei welcher die Luft gesättigt ist. Dampfgesättigte Luft enthält bei der Temperatur Null etwa $1/3$ Dampf aufs Hundert dem Gewicht nach, bei 8 Grad $2/3$, bei 16 Grad $1 1/3$, bei 24 Grad endlich $2 1/2$ (Gewichtprocente). Hiernach läßt sich ermessen, über welchen Erdräumen der Dampfgehalt der Luft am größten sein muß, zu welchen Zeiten der stets veränderliche Dampfgehalt an jedem Ort sein Größtes und Kleinstes haben wird, welche Winde die Verdampfung begünstigen und welche dampfgeschwängerte Luft herbeiführen. Den jährlichen Betrag der Verdunstung aber für einen gegebenen Raum durchschnittlich zu schätzen ist schwer; nach den Beobachtungen soll in Deutschland von einer Wasserfläche im Schatten eine Schicht von 20 bis 24 Zoll, in der Sonne von 60 bis 65 Zoll jährlich verdampfen; bei dem festen Boden kommt es ganz auf den Grad der Durchnässung, sowie auf die Natur der Pflanzendecke an, die bald vermehrend bald vermindernd wirkt. Was den Betrag für die ganze Erde betrifft, so wird man nicht leicht etwas genaueres anzugeben vermögen; wir erinnern daran, daß die Verdunstung der Meere dem Wasserzufluß ungefähr Gleichgewicht halten muß, und daß man das wieder verdunstende Wasser im Allgemeinen als die größere Hälfte des aus der Atmosphäre niedergeschlagenen Wassers betrachten zu dürfen glaubt.

Der Niederschlag des atmosphärischen Wassers ist durch Erkältung bedingt, wie wir wissen, und bei gesättigter Luft reicht die geringste Abkühlung hin, um einen Theil des vorhandenen Wasserdampfs niederzuschlagen; diejenige Temperatur, bei welcher überhaupt der Niederschlag beginnt, der

Thaupunkt, ist bei nichtgesättigter Luft niedriger, als die von dem jeweiligen Thermometerstand angegebene Lufttemperatur, und um so niedriger, je geringer der Dampfgehalt. Auf der Erforschung des jeweiligen Thaupunkts beruht auch die eine Art, den Dampfgehalt der Luft kennen zu lernen (Hygrometer); die andere ermittelt zunächst den Sättigungspunkt (Psychrometer). Bei eingetretener Sättigung verdunstet nämlich kein Wasser mehr, je entfernter aber die Luft vom Sättigungspunkt ist, desto mehr Wasser kann noch verdunsten, desto beträchtlicher ist also auch die dadurch hervorgebrachte Verdunstungskälte; läßt man also an einem Thermometer selbst Wasser verdunsten, so wird dieses fallen und zuletzt die Temperatur angeben, bei welcher die Luft mit dem wirklich vorhandenen Wasserdampf gesättigt wäre. Beide Methoden setzen dann noch eine von den Physikern ein für allemal ermittelte Tabelle voraus, welche die Spannkraft der Wasserdämpfe für die verschiedenen Wärmegrade angiebt; durch Vergleichung der betreffenden Spannkraft mit dem Barometerstand erfährt man nämlich, der wievielte Theil vom Luftdruck der Druck des vorhandenen Wasserdampfs ist, mithin auch wie sich die Menge desselben zu derjenigen der Luft verhält. Während über Seen und Meeren die Luft in der Regel gesättigt ist, nimmt der Dampfgehalt landeinwärts ab, sowohl schlechthin als beziehungsweise betrachtet, bis zu fast gänzlicher Trockenheit in den Wüsten und Steppen; ebenso nimmt die Dampfmenge sammt ihrem Spielraum mit der Meereshöhe ab.

Wenn die Erkältung nicht sowohl die Luft selbst, als vielmehr Körper betrifft, welche mit ihr und ihren Wasserdämpfen in Berührung kommen, so beschlagen solche Körper, wie man zu sagen pflegt. Dieß ist gleicherweise die Ursache vom Beschlagen, beziehungsweise Gefrieren der Fensterscheiben, wie von Thau und Reif. Bei diesen Hergängen setzt sich der Wasserdampf aus den untersten Schichten der Atmosphäre an den durch Ausstrahlung stärker erkälteten Boden ab; was daher diese Ausstrahlung, auf die wir weiterhin zurückkommen, begünstigt, unterstützt zugleich die Thaubildung,

und Stoffe von geringem Ausstrahlungsvermögen, wie blanke Metallplatten, werden deßhalb wenig bethaut. Während an den Küsten warmer Länder der Thau in einer Reichlichkeit fällt, die den Regen ersetzt, fehlt er fast ganz in dürren wasserlosen Gegenden.

Auf der Erkältung der Luft selbst beruhen die Niederschläge in freier Atmosphäre; der überschüssige, mit der erniedrigten Temperatur unverträgliche Dampf schlägt sich in feinen Wasser-, beziehungsweise Eistheilchen nieder, welche sich längere Zeit frei schwebend erhalten und die als Nebel und Wolken bekannten Massen bilden. Es sind kleine Dunstbläschen (sowie feine Eisnadeln), woraus diese Massen bestehen; man hat selbst ihre Durchmesser zu bestimmen gesucht, sowie die Dicke des Häutchens (nämlich durch gewisse Farbenerscheinungen, ähnlich denen der Seifenblasen); das Innere der Bläschen besteht ohne Zweifel aus dampfgesättigter Luft. Ob sie nun etwa durch die bei dem Niederschlag freiwerdende Wärme des Dampfs wirklich leichter als die umgebende Luft werden, oder ob sie, obgleich schwerer als Luft, wie Staub und Asche, aus anderen Gründen längere Zeit schwebend sich erhalten, nämlich in Folge des Luftwiderstands, des aufsteigenden Stroms, des Anhängungsbestrebens der Luft an die Bläschenhülle, dieß ist ein noch nicht gehörig aufgeklärter Punkt in der Mechanik des meteorischen Wassers. Die niederschlagwirkende Abkühlung der Luft aber kann auf verschiedene Weise bewirkt werden; in der ruhenden Atmosphäre durch die zeitweise Entziehung der Sonnenwärme (bei Nacht, im Schatten), in der bewegten aber entweder dadurch, daß die Strömungen wärmere dampfreichere Luft in kältere Räume führen (so insbesondere auch der aufsteigende Luftstrom in die höheren kälteren Regionen), oder dadurch daß kalte Winde in wärmere dampferfüllte Räume gelangen; ja es ist nachgewiesen worden, daß überhaupt die Mengung zweier Luftmassen von verschiedener Temperatur und verschiedenem Dampfgehalt die gemischte Luft dem Sättigungspunkt näher bringt, weil nämlich die Ab-

nahme der Dampfspannkräfte nicht gleichen Schritt hält mit der Abnahme der Temperaturen.

Wenn nun die Abkühlung in den unteren an die Erdfläche angränzenden Regionen vor sich geht, so entsteht der Nebel; es ist das umgekehrte Verhältniß der Temperaturen von dem, welches die Thaubildung veranlaßt, indem bei der Nebelbildung der Boden oder die Wasserfläche wärmer ist als die angränzende Luft, so daß der aufsteigende Dampf in dieser alsbald in Dunstbläschen sich umsetzt. Daher ist auch das Spätjahr vorzugsweise die Zeit der Nebel (die Herbstnebel), wo die Erde noch vom Sommer her eine höhere Temperatur besitzt, und die Luft durch die nächtliche Abkühlung zu niedrigerer Temperatur gelangt; daher sind sie am häufigsten über Niederungen und Wassern, oft gerade auf die feuchtesten Stellen als ganz örtliche Nebel beschränkt; daher auch die Nebelhüllen und Nebelkappen der Gebirge bei sonst heiterem Himmel. Diese erklären sich nämlich theils dadurch, daß kalte Winde, welche an den Berggipfeln vorbeiziehen, hier fortwährend Niederschlag bewirken, theils dadurch, daß die Berge die unteren dampfreicheren Schichten verhindern, dem herrschenden Wind in wagrechter Richtung zu folgen, und sie vielmehr nöthigen, an dem Bergabhang aufzusteigen; es ist überhaupt die durch die Gebirge vermittelte größere Mengung der Luftschichten. Die Nebel sind in den gemäßigten Zonen vorzüglich häufig, und hier zeichnen sich wieder manche Küstenländer ganz besonders durch dichte, mehrere Tage hindurch anhaltende Nebel aus, z. B. die nordwestlichen Küstenländer von Europa; in den Tropen sind die Temperaturunterschiede geringer, in den Polarländern ist es der Dampfgehalt. Der Nebel steigt entweder, was übrigens eher eine nach oben fortschreitende Nebelbildung ist und eine allgemeine Sättigung der Luft mit Dampf anzeigt, oder er sinkt, was im Grunde eine von oben her fortschreitende Auflösung des Niederschlags in Dampf und ein Zeichen von Trockenheit der Atmosphäre ist. Man stellt dem eigentlichen feuchten Nebel den trockenen Nebel oder Höherauch zur Seite, eine noch nicht genugsam aufgeklärte Erscheinung. Für den

Höherauch von „brenzlichem Geruch“, welcher häufig im Mai, zuweilen bis zu Anfang Augusts, das nordwestliche Deutschland und Holland, in einzelnen Jahren selbst Süddeutschland und einen Theil von Frankreich überzieht, will man die Ursache ganz bestimmt in einem irdischen Verbrennungsprozeß gefunden haben, nämlich in dem um jene Jahreszeit allgemein üblichen Brennen des Moorbodens in Norddeutschland, und er bestände dann aus Rauch- und Staubtheilchen, welche in den tieferen Luftschichten schweben. Allein man möchte doch noch fragen, ob der Höherauch nicht eine gesteigerte Verbreitung der Erscheinung sein könnte, welche gerade bei großer Trockenheit den duftigen Gesichtskreis bildet?

Wolken sind im Grund nichts anderes als Nebel in den oberen Regionen, wo der Niederschlag begreiflicher Weise durch die niedrigere Temperatur begünstigt wird. Ihre verschiedenen Formen haben ebensosehr die Aesthetiker als die Physiker beschäftigt; aber mit der verschiedenen Form hängt auch eine verschiedene Entstehung und meteorologische Bedeutung ohne allen Zweifel zusammen. Allbekannt sind die mit eigenen Namen bezeichneten Grundgestalten, die **Flockenwolke** (Federwolke, wohin auch die sogenannten Windbäume gehören) die **Haufenwolke** und die **Schichtenwolke** (zunächst an den Nebel sich anschließend) mit ihren Uebergangsformen (fedrige Haufenwolke, Schäfchen; gethürmte Haufenwolke, Wolkengebirge), die in dieser Folge zur Regenwolke (Nimbus) fortschreiten. Auch ihre Höhe ist sehr ungleich (die Cirren oder Flockenwolken am höchsten), und überdieß bei jeglicher Wolkenart nach Temperatur und Wind veränderlich; sie ist größer in den wärmeren Erdstrichen und Jahreszeiten. Die **mittlere Wolkenregion** oder die Region der Atmosphäre, wo die Wolkenbildung am häufigsten eintritt, bildet daher ein stärker als die Erde abgeplattetes Sphäroid. Die Höhe der höchsten Wolken schätzt man bei uns zu 20 bis 30 Tausend Fuß, die der Gewitterwolken, die zu den niedrigsten gehören, zu 2 bis 5 Tausend Fuß (selbst in den Tropen nicht über 10000 Fuß). Die **Bewölkung** ist in verschiedenen Erdstrichen und Jahreszeiten äußerst verschieden, der stets

klare Himmel in Steppen und Wüsten sticht grell ab gegen fast ununterbrochene Trübung, wie sie sowohl in der Region der Windstillen und an den Gränzen der Passate, als in manchen Gegenden der gemäßigten Zone vorkommt. Die Verdichtung der Dunstbläschen durch Druck oder fortgesetzten Niederschlag in den Wolken führt Regen, beziehungsweise Schnee, herbei; nur trifft selten der beginnende Niederschlag alsbald mit dem Herabfallen zusammen, so daß es aus heiterem Himmel regnet oder schneit. Ohne Zweifel beginnt der niedergeschlagene Dampf in den höheren Regionen oft der Schwere zu folgen, wird aber tiefer unten wieder aufgelöst, was auch einen weiteren Aufschluß über die Erhaltung der Wolken oder des niedergeschlagenen Dampfes in der Luft geben kann; erst wenn gleichsam die ganze unten befindliche Luftschicht zur Regenwolke wird, schreitet die Tropfenbildung von oben nach unten gehörig vor bis zu „wahren Wasserfäden“ (oder Strömen), mit denen man die tropischen Regen und manche Sommerregen unserer Gegenden vergleicht.

Wir wollen uns nicht länger bei den verschiedenen Formen des Regens (und Schnees) aufhalten (Staubregen, Platzregen und Wolkenbrüche, Strichregen und Landregen, den durch Beimengungen feiner organischer Theilchen entstehenden Blut- und Schwefelregen des Aberglaubens, dem Schlammregen nach Vulkanausbrüchen u. s. w.), noch weiter auf die Regenmessungen eingehen, die man über einzelne Regen, wie über die jährliche Regenmenge angestellt hat, indem man die Höhe der dadurch gebildeten Wasserschicht aus dem Mittel vieler Jahrgänge für verschiedene Orte zu ermitteln suchte (in Paris z. B. schwanken die 10jährigen Mittel zwischen 13 und 20 Zoll). Aber über die großen geographischen Verschiedenheiten in den Zeiten und Mengen des Regens ist noch einiges zu sagen, da dieß zu den kennzeichnenden Merkmalen von Wetter und Klima gehört.

Die bestimmten Regenzeiten der Tropenräume sind so bekannt, wie ihre regelmäßigen Winde, und kennzeichnen den regelmäßigeren Witterungslauf, welcher daselbst herrscht, eben-

sosehr wie jene Winde und der geringe Spielraum der Wärme, während in unseren Gegenden, gleichwie der Wind fast regellos die Windrose durchläuft, so auch und zwar in Folge hievon der Regen durchaus nicht an bestimmte Zeiten gebunden ist. In einer Zone nämlich, welche sich zu beiden Seiten des Aequators auf 15 bis 20 Grad erstreckt, findet der atmosphärische Niederschlag um die Zeiten des senkrechten Sonnenstandes statt, bei welchem die Verdampfung ein solches Maß erreicht, daß es durch den gleichzeitig ebenfalls gesteigerten aufsteigenden Luftstrom in den oberen Lufträumen zum Niederschlag kommen muß. Es sind Gewitterregen, welche dann täglich zu bestimmten Stunden eintreten, in der Regel nach dem höchsten Sonnenstand, so regelmäßig, daß man sich z. B. in Brasilien sei es auf die Zeit vor oder nach dem Gewitter einzuladen pflegt; haben ja auch wir manchmal Zeiten im Sommer, wo in ähnlicher Weise täglich Gewitter eintreten. Da die Sonne zwei senkrechte Stände hat, die aber nur in der nächsten Umgebung des Aequators durch eine gehörige Zwischenzeit von einander getrennt sind, so giebt es hier zwei Regenzeiten, die sofort weiter gegen die Wendekreise hin in eine zusammenfallen; dort hat man also zwei Regen- und zwei Trockenzeiten, hier je eine; übrigens finden auch mannigfaltige Abweichungen statt, dergestalt daß es in dieser Zone sogar Gegenden giebt, wo die eine Regenzeit in den Winter fällt (wie an der Mosquitoküste). An solchen Abweichungen hat wohl eine besondere Lage zum Meer Antheil, sowie auch besondere Windverhältnisse, was am auffallendsten in der vorderindischen Halbinsel hervortritt. Während die eine Küste (Malabar) im Sommer zur Zeit des Südwestmonsuns ihre bis nach Hindostan sich erstreckenden Gewitterregen hat, ist die Ostküste (Koromandel) anhaltend heiter und bekommt ihre Regenzeit mit dem Nordostmonsun im Winter, der Trockenzeit von Malabar.

Man kann daher die erwähnte Zone der entschiedensten Regenzeiten, abgesehen von den angedeuteten Unregelmäßigkeiten, auch die tropische Zone des Sommerregens nennen. Gegen die Wendekreise hin und über sie hinaus werden die

Regenverhältnisse unregelmäßiger; obwohl meistens noch die Sommerregen vorherrschen, so giebt es auch Gegenden, z. B. die südbrasilische Küste, wo es das ganze Jahr hindurch auffallend viel regnet. Ein großer Theil dieser Zone ist aber gänzlich regenlos, wozu zweierlei Umstände beitragen. Einmal ist für einen beträchtlichen Theil dieser Zone der Passat, welcher in ihr am vollständigsten herrscht, ein Trockenwind (Landwind), während da, wo er ein feuchter Seewind ist, wie in Brasilien, in China, die Regenmenge ganz besonders beträchtlich ist; ja es findet eben in Südamerika wieder ein auffallender Gegensatz statt, denn während die brasilische Ostküste besonders regenreich ist, so gehört die peruanische Westküste zu den regenlosen Gegenden, indem der Passat, bis er in die Anden gedrungen ist, alle Feuchtigkeit verloren hat. Alsdann fallen in dieselbe Zone die großen Sandwüsten, deren Wassermangel und Hitze die Luft stets trocken erhält.

Diese Zone des Gegensatzes, wo die regenreichsten Provinzen mit regenlosen wechseln, macht den Uebergang zu einer „subtropischen" Zone der Winterregen, die sich auf der nördlichen Halbkugel etwa vom 30sten bis 40sten Grad der Breite erstreckt. Hier fällt nämlich bei weitem der meiste Regen im Winter (manchmal durch eine Zwischenzeit getrennt, „Frühregen und Spätregen"), weil die erst hier mehr hervortretende Winterkälte die reichlichen Niederschläge veranlaßt, während dagegen im Sommer das Gleichgewicht zwischen Temperatur und Dampfgehalt sich zu erhalten vermag (gerade umgekehrt wie in jener innertropischen Zone des Sommerregens). Weiterhin tritt die Zone gleichvertheilter Regen ein, so jedoch daß zunächst, wie im südlichen Europa, noch die Winterregen, oder vielmehr Herbst- und Winterregen herrschen, indem hier schon im Herbst die Temperatur zu niedrig wird, um jenes Gleichgewicht zu erhalten. Man theilt zwar diese Zone wieder in die Provinz des Herbst- (und Winter-) Regens, welche Südeuropa nicht nur, sondern auch alle Westküsten bis in den hohen Norden umfassen soll, und die Provinz des Sommerregens, da diese im inneren und

östlichen Europa bis tief nach Asien hinein herrschen sollen, doch tritt dieses Vorherrschen nur in Mitteln aus sehr vielen Jahren hervor. Wenn endlich überhaupt die regenreichsten Gegenden da sich erwarten lassen, wo die höhere Luftwärme den größtmöglichen Dampfgehalt bedingt, so gehört doch außerdem noch zweierlei zum Niederschlag, einmal das Vorhandensein von Wasser, wenigstens mittelst feuchter Seewinde, und dann größere Wechsel der Temperatur.

Wir mußten bereits bei den Winden Gewitterstürme, bei den Regen Gewitterregen nennen, wir betrachten nun noch die Luftelektrizität näher als dritten Hauptbestandtheil des atmosphärischen Prozesses, welcher übrigens aufs innigste mit dem vorhergehenden zusammenhängt. Denn ihre Quelle ist ohne Zweifel Verdampfung und Niederschlag, und nach den Erörterungen des neunten Abschnitts werden wir von diesen Hergängen, so gut wie von Reibung und chemischem Prozeß erwarten, daß sie elektrizitätserregend wirken. Man hat auch wirklich bei Verdampfung von Wasser, in welchem anderweitige Stoffe aufgelöst sind, beobachtet, daß der Rückstand negative Elektrizität besitzt, der Dampf also positivelektrisch entwichen sein muß. Wir leiten daher hieraus die beständige Ladung der Atmosphäre mit positiver Elektrizität her, die auch beim heitersten Wetter und trockensten Zustand am Elektrometer aufs unzweideutigste nachgewiesen ist, mit den näheren Bestimmungen, daß die Luftelektrizität täglich zwei Größte und zwei Kleinste hat, erstere nach Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, letztere vor diesen Ereignissen, daß sie mit der Höhe zunimmt und auch in der kälteren Jahreszeit größer ist als in der wärmeren, Umstände, welche man aus der durch Feuchtigkeit und Niederschlag vermittelten Ableitung in den Boden zu erklären geneigt ist. So erwächst uns also die Vorstellung, daß die verdampfende Erdfläche negativelektrisch, die mit dem entwichenen Dampf vermischte Atmosphäre positivelektrisch sei; die entgegengesetzten Elektrizitäten werden sich am Boden stets ausgleichen, und durch den Niederschlag wird die Ausgleichung begünstigt. Diese geht nun bei lang=

samem Niederschlag allmälig und „still“ von statten, plötzliche Niederschläge aber veranlassen die mächtigen elektrischen Entladungen, worin die Gewitter bestehen.

Wenn nämlich zu den Zeiten der größten Verdampfung große Massen von Wasserdampf in den höheren Lufträumen plötzlich zu dichten Wolken niedergeschlagen werden (sei es in Folge des aufsteigenden Luftstroms, der den Dampf in kältere Räume hinaufführt, sei es in Folge eines hereinbrechenden kalten Windes): so begiebt sich die gesammte Elektrizität der einzelnen Lufttheilchen im Bereich der Wolkenmasse an deren Oberfläche, was somit eine plötzliche Steigerung der elektrischen Spannung zur Folge haben muß. So haben wir also eine positivelektrische Gewitterwolke von erhöhter Spannung, ihr gegenüber häuft sich an dem darunter befindlichen Boden die negative Elektrizität an; in Folge des Entladungsdrangs blitzt es zwischen dem Boden und jener Wolke, indem diese beiden Körper, getrennt durch eine Luftschicht, wie die Belegungen einer Leydener Flasche sich verhalten. Aber es blitzt auch oft auf sehr große Entfernungen zwischen verschiedenen Wolken, es muß also auch negativelektrische Wolken geben. Solche können sich aber bilden theils durch den Einfluß der stark positivelektrischen Wolken, theils durch aufgestiegene Nebel, die in der Berührung mit dem Boden negative Elektrizität angenommen haben. So gewiß nun seit Franklin die elektrische Natur der Gewitter ist, so läßt doch die Theorie der Entstehung dieser Elektrizität noch manches zu wünschen übrig; auch fehlt es nicht an solchen, welche an andere Ursachen denken oder wenigstens noch andere Umstände neben der Verdampfung herbeiziehen.

Die mancherlei besonderen Erscheinungen, welche die Gewitter mehr oder minder regelmäßig begleiten, gestatten zum Theil eine leichte Erklärung, zum Theil sind sie aber sehr räthselhaft. Ein Rückschlag (kalter Schlag) z. B. entsteht dadurch, daß nach erfolgter Entladung zwischen über einander befindlichen Wolken, wenn diese ihre Elektrizität dadurch verloren haben, auch die am Boden durch Anziehung festgehaltene

und angehäufte Elektrizität plötzlich zurückweicht. Zu den räthselhaftesten Umständen gehört dagegen der Hagel, woher nämlich die Kälte kommt, vermöge deren bei sehr hohen Temperaturen in den unteren Luftschichten oft große Eisstücke in ungeheurer Menge niederfallen. Man ist geneigt diese Kälte als Verdunstungskälte zu betrachten, herrührend von Regentropfen, welche beim Fallen wieder verdampfen, und während man früher nach Volta die Vergrößerung der durch die Kälte sich bildenden Eistheilchen aus fortgesetztem Hin- und Herwerfen derselben zwischen zwei elektrischen Wolken erklärte, neigt man sich heutzutage mehr zu der Ansicht, daß die ursprünglichen Rieselkörner (Graupeln) sich durch Anfrieren von Dunstbläschen in den unteren dampfreicheren Schichten vergrößern, womit man zugleich zwischen dem Riesel (kugligem aus größerer Höhe herkommendem Schnee) und Hagel nur einen gradweisen Unterschied festsetzt. Die beträchtliche und plötzliche Abkühlung in der oberen Luft, welche Gewitterwolken erzeugt, und unter besonderen Umständen zu Hagelbildung führt, ist wohl auch als Ursache der Gewitterstürme zu betrachten, welche meistens dem Zug eines Gewitters vorangehen, und diese kalten Luftströmungen in Verbindung mit der durch die vermehrte Feuchtigkeit erzeugten Verdunstungskälte mögen die abkühlende Wirkung der Gewitter erklären, die oft nach einer über größere Räume verbreiteten Gewitterfolge zu einer allgemeinen Abkühlung oder Temperaturstörung führt, auf die wir im nächsten Abschnitt zurückkommen.

Wir haben schon oben erwähnt, daß die Stürme, zumal die berühmten tropischen Stürme häufig von Gewittern begleitet sind, wo also die Gewitter vielmehr die Folge als die Ursache sind (Sturmgewitter), während es sich bei jenen Gewitterstürmen umgekehrt verhält. Denn bei jenen haben wir als entschiedene Ursache den heftigen Zusammenstoß verschiedener Luftströmungen erkannt, welcher die Luft in wirbelnde Bewegung versetzt, daher auch bei diesen Orkanen der Wind fortwährend sich zu drehen pflegt, so daß die Richtung in welcher der Wirbel fortschreitet (mit Geschwindigkeiten von 10 bis 30 See-

meilen in der Stunde) verschieden ist von derjenigen der einzelnen Windstöße. Bemerkenswerth ist übrigens, daß diese Orkane sich durch eine kleine schwarze Wolke bei hellem Himmel (das Ochsenauge der Seeleute) ankündigt, die schnell von innen aus wächst und bald den ganzen Himmel bedeckt. Jedenfalls scheinen dadurch die Orkane den Gewittern näher gerückt zu werden, sowie durch die sogenannten Wettersäulen (Tromben). Es sind ebenfalls heftige senkrechte Luftwirbel, nur auf viel kleinere Räume beschränkt, als die Stürme, je nachdem sie Wasser oder Sand aufwirbeln, mit dem Namen von Wasser- oder Sandhosen bezeichnet; auf der anderen Seite kommen im Gefolge von Gewittern ganz ähnliche Erscheinungen vor. Während daher die einen sie als reine Wirbelwinde betrachten und aus derselben Luftmechanik herleiten, wie die Orkane, wollen sie andere zu elektrischen Erscheinungen stempeln und die aufwirbelnde Bewegung aus der Anziehung von Gewitterwolken herleiten, oder aus der elektrischen Spannung zwischen den Wolken und der Erdfläche.

Nicht sowohl als ein besonderes viertes Moment in dem meteorologischen Prozeß betrachten wir endlich die Schwankungen des Luftdrucks, vielmehr sehen wir darin einen begleitenden Umstand, welcher mit den sämmtlichen Hergängen, die wir betrachtet haben, in näherem oder entfernterem Zusammenhang steht. Wir haben schon oben bemerkt, daß der Niederschlag des aufgelösten Dampfs den Luftdruck erniedrigt, daß also das Steigen und Fallen des Barometers mit den Veränderungen des Dampfgehalts in Zusamenhang steht. Temperaturveränderungen ziehen Barometerschwankungen nach sich vermöge des aufsteigenden Luftstroms, welcher den Druck nothwendig vermindert, dergestalt daß wenn mit zunehmender Wärme der aufsteigende Luftstrom sich vermehrt, das Barometer sinken wird. Da aber mit zunehmender Wärme auch der Dampfgehalt in der Regel sich mehrt, was die entgegengesetzte Folge für den Luftdruck hat, so können diese beiden Wirkungen sich ausgleichen, sowie auch die eine oder andere überwiegen kann. Der Druck der bewegten, namentlich

auch wagrecht bewegten Luft bei den Winden ist von dem der ruhenden Luft verschieden (einer der schwierigsten Umstände in der Luftmechanik), daher findet auch ein entschiedener Einfluß der Winde auf die Barometerschwankungen statt, dergestalt daß das Barometer im Allgemeinen bei warmen Winden fällt, bei kalten steigt; der Meteorolog verzeichnet nach den Beobachtungen seine „barometrische Windrose“, wie er eine „thermische“ und „atmische“ Windrose bildet nach den Angaben des Thermometers und Hygrometers bei den verschiedenen Winden. Da überhaupt die Luftströmungen auf gestörtem Gleichgewicht der Atmosphäre beruhen, und diese Störung im Luftdruck sich zeigen muß, so läßt sich mit jeder Windänderung eine Veränderung des Barometers erwarten, dergestalt daß letztere in der Regel vorangeht, das gestörte Gleichgewicht andeutend, das durch den Wind sich wiederherzustellen sucht, und je größer diese Störung, je sturmartiger also die daraus hervorgehende Luftströmung, desto bedeutender muß die Abweichung des Barometers von dem mittleren Stand sein, was die Beobachtung auffallend tiefer Barometerstände bei Stürmen in allen Zonen bestätigt.

Da nun der Witterungswechsel wie wir gesehen haben, vor allem mit dem Windwechsel zusammenhängt, so beruht auf dem Zusammenhang des Luftdrucks mit dem Wind die Rolle des Barometers als eines „Wetterglases“, die aber meistens sehr irrig verstanden und angewandt wird. Denn „das Barometer steigt oder fällt vor dem Regen, je nachdem an dem Ort, wo man beobachtet, der dem Regenwind entsprechende Barometerstand höher oder tiefer ist, als der mittlere des Orts“. Da nun in unseren Gegenden die West- und Südwestwinde die Regenwinde sind, und zugleich die warmen leichten Winde der Aequatorialströmung, die Ost- und Nordostwinde dagegen einerseits trockene Landwinde, anderseits die schweren Winde der Polarströmung, so fällt bei uns das Barometer vor dem Regen, und steigt bei dem Eintritt des heiteren Himmels; diese Grundregel ist aber vielen Ausnahmen unterworfen. „Da nämlich der Niederschlag bei

jeder Mengung ungleich erwärmter Luftschichten erfolgt, so kann jede Windveränderung Regen veranlassen, aber auch bei jeder länger anhaltenden Windrichtung heiteres Wetter eintreten. Wenn bei uns nach unbeständiger Witterung der Westpassat die Herrschaft gewonnen hat, so fällt das Barometer oft zunächst noch tiefer, während der Himmel sich aufhellt, und erst bei steigendem Barometer in Folge eingreifender Nord- und Ostwinde erfolgt Trübung und Niederschlag, vorübergehend, wenn das Steigen anhält und der Ostpassat den Westwind verdrängt, länger anhaltend, wenn der Kampf der Winde sich fortsetzt und das Barometer zwischen Steigen und Fallen schwankt. Fällt dagegen nach längerer trockener Witterung das Barometer, so erscheinen bald auch als Anzeigen des in der Höhe übergreifenden Westwinds Cirren, es kann aber noch mehrere Tage hell bleiben, weil die Niederschläge sich in der tieferen trockenen Luft wieder auflösen, und es kommt erst zum Regen, wenn die Feuchtigkeit in der ganzen Atmosphäre dem Sättigungszustand sich nähert, und der tiefe Barometerstand das Vorwalten westlicher Winde anzeigt. Es regnet daher einerseits bei herrschendem Westwind, wenn das Barometer steigt, andrerseits bei herrschendem Ostwind, wenn das Barometer fällt". Wir haben diese Regeln wörtlich nach Studer angeführt wegen ihres Anklangs im Leben, obwohl wir uns in die Einzelheiten der Witterungskunde hier nicht einlassen dürfen. Zugleich wird es nun jedermann einleuchtend sein, daß nach örtlichen Verhältnissen Barometer und Wetter sich sozusagen ganz gleichgiltig verhalten können, sowie nämlich kein entschiedener Regenwind verhanden ist, oder kein Windwechsel; desgleichen daß es Orte geben kann, wo das Verhältniß sich ganz umkehrt, so daß heiße trockene Landwinde diejenigen sind, bei denen das Barometer fällt, z. B. am Laplata, in Neusüdwales.

Der Spielraum der Barometerschwankungen ist im Winter größer und wächst im Allgemeinen mit der geographischen Breite; er beträgt in der heißen Zone nur wenige Linien, in Europa 2 bis 2½ Zoll; der mittlere monatliche

Spielraum steigt vom Aequator bis zu 70 Grad Breite von 1½ bis zu 11 und 13½ Linien. Man hat die Orte von gleichem mittleren Monatspielraum durch (isobarometrische) Kurven verbunden, welche im Allgemeinen ähnliche Biegungen zeigen wie die Isothermen, und von den dem Aequator parallelen „Isobaren" zu unterscheiden sind, den Linien gleichen mittleren Barometerstandes im Meersspiegel (denn daß dieser nicht überall gleich, haben wir schon oben gesehen). Wie alle atmosphärischen Veränderungen, so sind auch die Schwankungen des Luftdrucks bald über größere bald über kleinere Erdräume verbreitet; die stärkeren gehören in der Regel zu den ersteren, und man hat dabei an eine wellenförmige Fortpflanzung vom Orte der Störung aus gedacht; aber ebenso wenig darf man verhehlen, daß oft an benachbarten Orten ein beträchtlicher Unterschied des Barometerstands gleichzeitig stattfindet. Der Gang der Luftdrucksänderungen ist wegen der großen Verwicklung der Einflüsse noch sehr unvollständig bekannt; in unseren Gegenden werden die kleineren wirklich periodischen Aenderungen verhüllt oder verwischt durch die unregelmäßigen Schwankungen, deren Gesetz und Periode sich zur Zeit so wenig ermitteln läßt, wie beim Windwechsel. Ohne Zweifel kommt neben diesen dem Luftdruck eine jährliche, wie eine tägliche Periode zu, ja man will selbst eine monatliche erkannt haben, die dann nicht von dem Gang der Sonnenwärme, wie jene, herrühren würde, sondern auf einen noch unbekannten Einfluß des Mondes hinwiese, sofern in jedem Monat zweimal ein Größtes über dem Mittel eintreten soll, woran wir vor der Hand aus den schon im vierten Abschnitt angedeuteten Gründen zweifeln. Die tägliche Periode tritt am deutlichsten hervor, mit zwei Größten Vormittags und Vormitternachts und zwei Kleinsten Abends (Nachmittags) und Morgens (Nachmitternachts), und ist wieder in den Tropen am ausgeprägtesten; man hat dieß eine barometrische Ebbe und Fluth genannt, welche man aber, da sie vom Gang der Sonnenwärme abhängt, sorgfältig von den uns unmerklichen durch Gravitation bewirkten Gezeiten der Atmo-

sphäre in ihren obersten Regionen unterscheiden muß, von denen wir anderwärts gesprochen haben.

Ebendaselbst haben wir gegen den Einfluß des Monds auf die Witterung, wie er im gewöhnlichen Volksglauben vorhanden ist, uns ausgesprochen. Wir tragen kein Bedenken, diesen Glauben für einen Rest astrologischer Vorstellungen zu erklären und können uns überhaupt nicht entschließen, kosmische Einflüsse auf Klima und Witterung anzunehmen, da die Atmosphäre sammt der Bewegung der eingestrahlten Wärme eine so umfassende Kette von Ursachen und Wirkungen darbietet, die man erst noch besser kennen lernen muß, ehe man nach anderen Einflüssen sich umsieht. Wir verweisen übrigens wegen einer ausführlichen Widerlegung des Mondglaubens auf eine Abhandlung im Jahrgang 1845 der Jahrbücher der Gegenwart, welche das Motto trägt:

„O schwöre nicht zum Mond, dem wandelbaren,
Der immerfort in seiner Scheibe wechselt“.

XV.

Wärme und Klima.

In diesem mit dem vorigen eng verbundenen Abschnitte betrachten wir die Erwärmung der Erde von der Sonne und die daraus sich ergebenden allgemeinen klimatischen Verhältnisse der Erdoberfläche. Im zehnten Abschnitt, dessen allgemeine Lehre von der Wärme auch hier fortwährend in Anwendung kommt, haben wir bereits gesehen, daß die Gränze zwischen dem Gebiet der Sonnenwärme und der Erdwärme unterhalb der Außenfläche deutlich durch die gleichbleibenden Temperaturen sich zu erkennen giebt; denn alle Wärmeverhältnisse, welche von der Einstrahlung durch die Sonne herrühren, sind veränderlich. Sie haben an jeglichem Ort eine tägliche und eine jährliche Periode, abhängig vom Stand der Sonne gegen den Horizont jenes Orts, und überdieß ist der eine Jahrgang dem anderen nicht gleich, was indeß weniger von kosmischen Einflüssen (wärmeren oder kälteren Gegenden des Weltraums, Veränderungen in der Sonne) herrührt, als von den atmosphärischen Zuständen und Hergängen, die man unter dem Namen des Wetters begreift, wie wir gesehen haben, worin man aber leider bis jetzt keine Regelmäßigkeit oder Gesetzmäßigkeit, namentlich keine Perioden (weder innerhalb eines Jahrs noch in ganzen Reihen von Jahren) zu entdecken im Stande war.

Die Wärmeverhältnisse der Erdoberfläche kennzeichnen sich daher durch Mitteltemperaturen (tägliche und jährliche, monatliche und jahrszeitliche Mittel), Temperaturäußerste

und die daraus sich ergebenden Spielräume der Wärme (mittlere und äußerste Spielräume, wiederum nach jenen verschiedenen Perioden), endlich durch den Gang der Wärme (in der täglichen und jährlichen Periode, sowie in längeren Zeiträumen, die noch nichts Periodisches darbieten). Die Mittel und Spielräume, aus denen ein letzliches Urtheil über das Klima eines Orts, sowie eines kleineren oder größeren Erdraums erwächst, müssen (wie bei dem Luftdruck) aus einer langen Reihe von Jahren hergeholt sein, eben weil neben den bekannten periodischen Veränderungen des Wärmezustands auch Veränderungen von unbekanntem Gesetz im Gang sind, von denen sich höchstens erwarten läßt, daß sie in längeren Zeiträumen sich ausgleichen. Wir schicken aber einige Erörterungen über die Erwärmung des Bodens, des Wassers und der Luft voraus, denn von welchem Einfluß die Natur der bestrahlten Körper auf deren Erwärmung ist, läßt sich nach den früher betrachteten thermischen Vermögen (Fassungs-, Leitungs-, Verschluckungs-, Rückstrahlungs-, Durchstrahlungs-Vermögen) ermessen. Daher muß auch von den durch die Sonnenstrahlung mitgetheilten Temperaturen der Betrag der Sonnenwärme selbst, welche zur Erde gelangt, sorgfältig unterschieden werden, und wir befassen uns daher zunächst mit dieser unmittelbaren Sonnenwärme.

Die Wärmemenge, welche während einer bestimmten Zeit auf die gesammte Erdoberfläche gestrahlt wird, ist vermöge der Gesetze der Planetenbewegung (so lange nämlich die Elemente der Erdbahn sich nicht merklich ändern) von der Entfernung unabhängig und lediglich dem Winkel proportionirt, welchen die Erde in jener Zeit durchlaufen hat (d. h. den die Abstände der Endpunkte des durchlaufenen Bogens von der Sonne mit einander bilden). Denn einerseits verhält sich zwar die Wärmemenge (sowie die Lichtmenge) umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung, andererseits aber gerade wie der Zeitraum der Strahlung; diese Zeiten verhalten sich sofort nach dem zweiten Keplerschen Gesetz wie die um die Sonne beschriebenen Flächenräume, und diese (zunächst bei gehörig kleinen Zeiten)

einerseits wie die Winkel an der Sonne, andererseits wie die Quadrate der Abstände; es wird also in jedem Zeittheilchen die Wärmemenge wieder nach Maßgabe des Entfernungsquadrats vergrößert und ist daher einfach dem beschriebenen Winkel verhältnißgleich. In Zeiten also, in welchen gleiche Winkel um die Sonne beschrieben werden, wie in den vier Jahreszeiten, wird der Erde im Ganzen gleichviel Wärme zugestrahlt. Während begreiflicherweise die Wärme, welche der Erde im Ganzen zustrahlt, von dem Stand der Sonne gegen den Aequator, mithin auch von der Schiefe der Ekliptik unabhängig ist, hängt dagegen die Menge der an einen bestimmten Ort während eines Tags gelangenden Wärme theils von der Tagesdauer, theils von der Schiefe der Sonnenstrahlen ab, mithin von der geographischen Breite des Orts und der jeweiligen Abweichung der Sonne. Man hat darnach die Mengenverhältnisse der gestrahlten Wärme für die einzelnen Tage des Jahrs und für verschiedene Breiten berechnet, wobei sich ergiebt, daß im ganzen Jahr die Wärme, welche ein Aequatorort erhellt, nur etwa 2½mal so groß ist, als die, welche zum Pol gelangt. Denn was hier durch den schieferen Sonnenstand verloren geht, wird zum Theil durch die längere Dauer des Sonnenscheins ersetzt, und es nimmt z. B. die Menge der am längsten Tag gestrahlten Wärme vom Aequator an bis etwa in die Breite von Italien zu, von da ab bis in die Mitte der skandinavischen Halbinsel, und dann wieder zu bis zum Pol, wo die nur 23½ Grad hoch, aber 24 Stunden ununterbrochen strahlende Sonne in der That mehr Wärme giebt, als am Aequator in den 12 Stunden, während deren sie um Mittagszeit im Scheitelpunkt steht. Nach Versuchen über die Kraft der unmittelbaren Sonnenstrahlen, sowie nach Schätzungen über den Wärmeabgang in der Atmosphäre, hat man sogar gewagt, den Erfolg zu berechnen, den die gesammte Menge der in einem Jahr der Erde zugestrahlten Wärme z. B. für die Schmelzung von Eis haben würde, und herausgebracht, daß sie fähig wäre, eine die ganze Erde umgebende Eisschicht von 25,7 Me-

ter (90 württembergische Fuß, nach anderen von fast 31 Meter oder 108 Fuß) zu schmelzen.

Von dieser Wärme gelangt aber nur ein Theil an den Erdboden selbst, denn ein namhafter Theil wird von der Atmosphäre beim Durchgang verschluckt und zu ihrer Heizung verwendet, da alle durchstrahlbaren Körper, wie die Luft, keineswegs alle Wärme durchlassen, und um so weniger bei an und für sich gleichem Durchstrahlungsvermögen, je dicker die zu durchstrahlende Schicht ist. Nach Beobachtungen und Theorie berechnet man, daß von der gesammten Wärme, welche jeweilig auf die Tagseite der Erde gestrahlt wird, nur etwas über die Hälfte zum Boden gelange, während der Rest, also fast ebensoviel, in der Atmosphäre bleibt. In der That nimmt die Kraft der Sonnenstrahlen mit der Erhebung in die Luft zu, wie es hiernach sein muß, da die wärmeverschluckende Schicht dünner wird; dieß geht aus Thermometerbeobachtungen hervor, sofern der Ueberschuß des der Sonne ausgesetzten (geschwärzten) Thermometers über das im Schatten befindliche mit der Erhebung zunimmt. Man muß übrigens gestehen, daß ein ganz reines Ergebniß über den Wärmegrad der Sonnenstrahlen schwer zu erzielen ist, indem es gilt, alle fremdartigen Einflüsse, namentlich Abgang von Wärme durch Rückstrahlung und Leitung zu beseitigen (daher die Schwärzung des Thermometers). Uebrigens kann durch Begünstigung der Verschluckung und Abschneidung der Ausstrahlung die von der Sonne hervorgebrachte Temperatur sehr hohe Grade erreichen. Bei einer Lufttemperatur von 24 Grad am Orinoko zeigte ein Granitfels 34, weißer Sand 41, grober Granitgrus 48 Grad; der Sand am Meeresufer erreicht im Sommer zuweilen Temperaturen von 52 bis 56 Grad. Auf hohen Bergen soll das im geschwärzten Kasten eingeschlossene Thermometer bis auf 66, ja 88 Grad steigen; im Polarmeer soll das Pech an den Schiffen in der Sonne zum Schmelzen kommen, was eine Wärme von 24 bis 36 Grad voraussetzt, während im Schatten das Thermometer 8 Grad unter Null zeigt; in Sibirien endlich schmilzt der Schnee auf den Dächern bei einer Schattentemperatur von 20 bis 28 Grad unter Null.

Die zuletzt erwähnten Thatsachen zeigen zugleich den Einfluß der stofflichen Natur der Körper auf ihre Erwärmung, den wir sofort nach den Hauptverschiedenheiten der Körper an der Erdoberfläche weiter verfolgen, wobei wir mit der schon im zehnten Abschnitt berührten Bodentemperatur beginnen. Die Wärme, welche nach dem Durchgang durch die Atmosphäre in den festen Erdboden einstrahlt, erwärmt denselben nach Maßgabe seines Fassungsvermögens, und dringt senkrecht in denselben auf dem Weg der Leitung ein, nach Maßgabe seines Leitungsvermögens; die umgekehrte Bewegung tritt ein bei dem Hergang der Ausstrahlung, welcher stets mit dem der Einstrahlung wechselt. Da nun die Erwärmung in Folge der hineingeleiteten, sowie die Erkältung in Folge der hinausgeleiteten Wärme mit dem Abstand von der Außenfläche nothwendig sich vermindert, so rücken jedem Halbmesser entlang die Temperaturäußersten zusammen, so daß die Temperatur sich der äußeren Mitteltemperatur nähert, und in einer gewissen Tiefe wird die Wärme beständig der Mittelwärme an der Oberfläche gleich sein. Außer dem äußeren Spielraum der Wärme hat auf diese Tiefe der beständigen Temperatur das Strahlungs- und Zurückwerfungs-, das Fassungs- und Leitungsvermögen des Bodens Einfluß, und sie erstreckt sich hinsichtlich der einzelnen Perioden der Sonnenwärme um so weiter, je länger die Periode, dergestalt daß gemäß der mathematischen Wärmetheorie die Quadratzahlen der Tiefen sich verhalten wie die Perioden der Temperatur, und somit insbesondere die jährlichen Wechsel 19mal tiefer (19 . 19 ist fast gleich 365) sich erstrecken, als die täglichen. Da ferner die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung eine beträchtliche Zeit bedarf, so treten im Boden die Temperaturen später ein, welche denen an der Oberfläche entsprechen, was nach Beobachtungen in unseren Gegenden für einen Fuß bei dem Gang der täglichen Wärme 9½ Stunden, bei dem jährlichen gegen 6 Tage ausmacht. Hiernach würden bei uns in einer Tiefe von 30 Fuß die jährlichen Wärmewechsel um ein volles Halbjahr später eintreten als an der Oberfläche, d. h. die größte Wärme

in den Wintermonaten, die kleinste in den Sommermonaten, und in einer Tiefe von 60 Fuß wäre die Zwischenzeit ein Jahr, mithin wären, da nach einem Jahr der Kreislauf in sich zurückgekehrt ist, diese 60 Fuß die Gränze, zu welcher bei uns die jährlichen Temperaturwechsel eindringen; die Beobachtungen geben allerdings ziemlich größere Werthe (im Mittel etwa 70 Fuß), diese müssen aber auch nach der Bodenart wie nach dem Jahrgang verschieden sein. Von der hier besprochenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sowie von dem Grad und der Dauer der Kälte hängt auch die Tiefe ab, zu welcher der Boden bei uns zufriert; sie geht selten über 20 Zoll hinab, und die Kälte muß wenigstens 8 Tag anhalten und 11 Grad unter Null erreichen, wenn der Frost merklich in den Boden hinein sich erstrecken soll.

Die Bodenschicht der veränderlichen Temperaturen erstreckt sich also auf verschiedene Tiefen, und an der unteren Gränze derselben ist die hier herrschende beständige Temperatur der senkrecht darüber an der Außenfläche herrschenden Mitteltemperatur ungefähr gleich, mithin verschieden an verschiedenen Punkten jener Gränzfläche, vom Aequator den Polen zu abnehmend. Daraus folgt, daß auch noch im Inneren der Erdrinde eine zweite Bewegung geleiteter Wärme stattfinden muß, die im Allgemeinen der Erdfläche entlang von den Aequatorgegenden gegen die Pole geht, wobei aber jeder Punkt stets soviel Wärme erhalten muß als er abgiebt, weil sonst nicht vom Gebiet der beständigen Temperaturen die Rede sein könnte. Es findet also jenes bewegliche Gleichgewicht der Wärme statt, wovon wir anderwärts gesprochen haben, und ein Kreislauf der Sonnenwärme, vermöge dessen ein Theil der in den wärmeren Gegenden der Erde eingestrahlten Wärme nach den kälteren sich bewegt und hier nach der Außenfläche abgeht. Endlich verbindet sich mit dieser Bewegung und mit derjenigen, welche in der senkrechten Ein- und Ausstrahlung besteht, die Herausleitung der irdischen Eigenwärme, welche aber, wie wir früher gesehen haben, auf ein Kleinstes zurückkommt, und dieß sind die drei Bewegungen

der Wärme im Erdkörper, welche Humboldt vorübergehend erwähnt. Der zunächst theoretische Satz, daß jeder Senkrechten entlang bis zur Fläche der beständigen Wärme die Mitteltemperaturen derjenigen an der Oberfläche gleich sein sollen, stimmt wohl im Allgemeinen mit der Erfahrung überein, indeß darf man keinen vollkommenen Einklang erwarten, da zuviele störende Einflüsse vorhanden sind, wie die Temperaturzunahme in Folge der eigenen Erdwärme, die eindringenden atmosphärischen Wasser, die bedeutenden Verschiedenheiten der Verschluckung und Ausstrahlung an der Oberfläche. Uebrigens scheint nach den Beobachtungen die Mitteltemperatur der Oberfläche selbst höher zu sein, als zunächst unterhalb und oberhalb derselben. Wo die Mitteltemperatur der Oberfläche unter den Gefrierpunkt herabsinkt, da muß in der Tiefe der beständigen Temperatur der Boden stets gefroren sein, so weit bis es die innere Erdwärme wieder gewinnt, während er weiter nach oben im Sommer aufthaut.

Besondere Umstände veranlassen aber bedeutendere örtliche Abweichungen der Bodenwärme von den entwickelten Gesetzen, wovon die einen erhöhend, die anderen erniedrigend wirken. Wo heiße Gase und Dämpfe aufsteigen in der Nähe vulkanischer Ausbrüche, überhaupt in vulkanischen Gegenden, wo vermöge der Verbindung mit dem inneren Wärmeheerd die Zunahme der Eigenwärme rascher erfolgt als anderswo; ferner wo vorzugsweise Sommerregen fallen oder das Eindringen kalten Wassers durch das Gefrieren verhindert wird, da wird die mittlere Bodentemperatur erhöht. Eine Erniedrigung aber haben Seen und Meere, deren Wärme nach unten abnimmt, sowie Gletscher für den darunter befindlichen Boden zur Folge und in gleichem Sinne wirken die vorherrschenden Winterregen. Besondere Merkwürdigkeiten endlich sind die natürlichen Eishöhlen, sowie die Windhöhlen oder Wetterlöcher. In jenen fängt sich die hineinsinkende kalte Winterluft durch Mangel an Luftzug, dergestalt daß das Wintereis sich wie in einem künstlichen Eiskeller erhält und selbst neues sich bildet; in diesen strömen kalte Winde aus zerklüftetem Gestein aus, um so

mehr, je wärmer und heiterer es draußen ist, während im Winter der Luftzug einwärts geht, daher sie in Italien und in der Schweiz zu Kellern benützt werden.

Die Erkältung des Bodens beruht gänzlich auf Ausstrahlung der Wärme in den Himmelsraum; daher erkaltet die Außenfläche des Bodens in den Nächten stärker als die Luft, und der Unterschied seiner Temperatur von derjenigen, welche in größerer Höhe statt findet, kann mehrere Grade betragen, desgleichen ist der Boden selbst in geringer Tiefe unter der Pflanzendecke, z. B. unter Gras oft um ein paar Grad wärmer als letzteres. Es versteht sich, daß das größere oder kleinere Ausstrahlungsvermögen hiebei eine Hauptrolle spielt, und es beruht darauf die Thau- und Reifbildung. Diese nächtliche Erkältung zeigt sich daher auch nur in heiteren Nächten und nicht bei bedecktem Himmel, wo die Ausstrahlung der Wärme an der Wolkenhülle gehemmt wird, auch ist sie stärker bei Windstille als bei windigem, obgleich hellem Wetter, weil der Wind die Herstellung eines gehörigen Temperaturunterschieds zwischen dem Boden und der angränzenden Luftschicht verhindert.

Was jetzt die Temperaturverhältnisse der Gewässer betrifft, so gestalten sich dieselben durch mancherlei Umstände anders als die des festen Erdbodens. Das Fassungsvermögen des Wassers übertrifft das aller festen Stoffe der Erdrinde und zwar das der verbreitetsten Felsarten ungefähr fünfmal, es erwarmt daher langsamer und zu geringerem Grade, und erkaltet desgleichen langsamer und weniger als der Erdboden. Dieß ist ohne Zweifel der Hauptgrund dafür, daß die Temperatur des Meeres in allen Breiten weit gleichmäßiger ist, als die des Landes; der tägliche Spielraum an seiner Oberfläche ist fast unmerklich (1 Grad Unterschied gehört schon zum Außergewöhnlichen), und der jährliche, der durchschnittlich in den Tropen kaum 1 Grad beträgt, in mittleren Breiten aber 4 Grad, bleibt selbst im Aeußersten noch unter 9 Grad (nach Beobachtungen im nördlichen atlantischen Ocean, die freilich nur sehr vereinzelt sind). Auf den Einfluß, den diese gleichmäßige Temperatur des Wassers auf das Klima des

benachbarten Landes hat, kommen wir weiter unten zurück. Die Temperaturen, welche das oberflächliche Meerwasser annimmt, erheben sich im tropischen Theil des atlantischen Meers nach denselben Beobachtungen nicht über 20 bis 22 Grad und sinken in den mittleren Breiten nicht unter 8 bis 10 Grad. Die Meerestemperatur bleibt sich also nicht nur in jeglicher Breite der Jahreszeit nach gleicher, sondern ist auch dem Raum nach gleichmäßiger in den verschiedenen Breiten; hiezu aber trägt ohne Zweifel auch der beständige Wasseraustausch durch die Strömungen das seinige bei, der Wasser aus verschiedenen Breiten mengt, sowie die Wellenbewegung, die Wasser aus verschiedenen Tiefen mischt.

Ein zweiter unterscheidender Umstand ist die Abnahme der Wassertemperatur mit der Tiefe, welche bei Seen und Meeren stattfindet. Dieß hat seinen Grund darin, daß das Wasser, welches an der Oberfläche erkaltet, vermöge seiner größeren Dichte untersinkt. Befindet sich nun anfangs auch in der Tiefe wärmeres Wasser, so gesellt sich zur niedersteigenden Strömung eine aufsteigende, bis das kältere und dichtere Wasser sich unten befindet. Dieses hat daher eine sich gleichbleibende Temperatur, welche niedriger als die mittlere der Oberfläche ist, und zwar diejenige, welche dem Wasser bei seiner größten Dichte zukommt, d. h. beim süßen Wasser etwas mehr als 3 Grad über Null, beim Meerwasser aber die seines Gefrierpunkts, oder fast 2½ Grad unter Null, daher bei den Meeren noch niedrigere Temperaturen auf dem Grund zu erwarten sind, als bei Süßwasserseen. Aber es können auch Wärmequellen vom Grund aus einwirken, namentlich bei großen Tiefen die Erdwärme selbst, und dann entstehen aufsteigende Strömungen, welche sich mit den periodisch (d. h. in jeder Nacht, vorzüglich aber in der kalten Jahrszeit) wiederkehrenden niedersteigenden Strömungen fortwährend verwickeln. Dazu kommen bei den Oceanen die Unterströmungen, welche der Erdfläche entlang kaltes Wasser von den Polen herbeiführen, deren wir schon im dreizehnten Abschnitt gedacht haben sammt der merkwürdigen Thatsache, daß selbst in den Tropen die Oceane in

bedeutender Tiefe eine eisige Temperatur zeigen, welche, wie sich von selbst versteht, nicht von niedersinkendem kaltem Wasser herrühren kann, sondern eben in jenen wagrechten Strömungen ihre Erklärung findet. Die gleichbleibende niedrige Temperatur erreicht man meistens erst in Tiefen von mehr als 3000 Fuß, dergestalt daß die Wärme zuerst rasch, dann langsamer, zuletzt unmerklich abnimmt, auch scheint die Tiefe, bei welcher sie sich sofort gleichbleibt, polwärts abzunehmen. In tropenwärts liegenden Binnenmeeren trifft man keine so niedrigen Temperaturen in der Tiefe, da hier die beiden Ursachen fehlen, die wir so eben erwähnt haben; im mittelländischen Meer z. B., wo die täglichen Wechsel in eine Tiefe von 50 Fuß, die jährlichen in Tiefen von 900 bis 1200 Fuß sich erstrecken sollen, trifft man in der größten Tiefe keine niedrigeren Temperaturen als 10 bis 9 Grad. In höheren Breiten sinkt die Wärme in der Tiefe selbst unter Null, z. B. in der Baffinsbai in Tiefen von 4 bis 6 Tausend Fuß, aber im grönländischen Meer liegt der räthselhafte Umstand vor, daß die Temperatur zuerst bei mäßigen Tiefen (d. h. bis über 1000 Fuß) bis unter Null sinkt, in größeren (bis zu 4000 Fuß) aber wieder über Null steigen soll. Das Eindringen der Temperaturwechsel von der Oberfläche aus geht beim Wasser weniger auf dem Weg der Leitung, als auf dem der Durchstrahlung vor sich, in welchem Vermögen das Wasser übrigens eine ziemlich niedrige Stelle einnimmt; so gelangen also die höheren Wärmegrade in die Tiefe, die niedrigen dagegen (bei dem Mangel an Leitungsvermögen) hauptsächlich nur durch die schon besprochenen Strömungen.

Wenn nun, bei fortgesetzter Erkältung eines Wasserbeckens von der Oberfläche aus, die senkrechten Bewegungen aufgehört haben, so kann die Temperatur an der Oberfläche erst wieder zu sinken anfangen und bei gehöriger Erniedrigung das Gefrieren von der Oberfläche aus beginnen. Deßhalb tritt dieß bei tiefen Wassern später ein als bei seichten, überdieß ist der Zustand des Wassers nach Ruhe oder Bewegung von Einfluß auf den Hergang, dergestalt daß, wie wir schon

früher bemerkten, eine bedeutende Erkältung unter den Gefrierpunkt statt finden kann, welchem überhaupt ein gewisser Spielraum zuzuschreiben ist. Bei Strömen tritt auch der Umstand ein, daß auf dem Grund die Temperatur früher auf den Eispunkt gelangt und so Grundeis sich bildet, ehe die Oberfläche zum Gefrieren sich anschickt; denn der Widerstand, den das fließende Wasser am Grund findet, begünstigt ebensosehr die Eisbildung, als die ungehinderte Strömung an der Oberfläche ihr hinderlich ist, in um so höherem Grade, je rascher die Strömung ist. Auch in seichteren stehenden Gewässern, sowie über Meeresuntiefen soll sich Grundeis bilden.

Wie die Atmosphäre bei aller Durchstrahlbarkeit doch gegen die Hälfte der gesammten von der Sonne einstrahlenden Wärme verschluckt, haben wir bereits gesehen. Der wichtigste Umstand ist hier die allbekannte Thatsache von der bedeutenden Abnahme der Temperatur nach oben, von der wir jetzt auch die Ursachen unschwer anzugeben vermögen. Die eine liegt in der Atmosphäre selbst, nämlich in ihrer nach oben zu abnehmenden Dichte, und zwar wirkt dieser Umstand auf gedoppelte Art zur Temperaturerniedrigung, einmal weil die dünnere Luft durchstrahlbarer ist oder weniger Wärme verschluckt, und dann weil sie auch ein größeres Fassungsvermögen für die Wärme besitzt, als die dichtere; die dünnere obere Luft erhält also an sich weniger Wärme als die dichtere untere Luft, und würde, auch wenn sie gleichviel Wärme erhielte, gleichwohl weniger dadurch geheizt. Dazu kommen aber die Einflüsse der Umgebung. Die untersten Luftschichten, welche die Erdoberfläche zunächst umhüllen, erhalten, zumal vom Land aus, eine weitere Heizung durch Rückstrahlung der Wärme, und diese rückgestrahlte dunkle Wärme wird auch in höherem Grade von der Luft verschluckt, als die stärkere lichtbegleitete Wärme der unmittelbaren Sonnenstrahlen; dieser Einfluß des Landes nimmt mit steigender Höhe rasch ab, und nur weniges schneebedecktes Land ragt selbst in größere Höhen. Die obersten Luftschichten dagegen haben zur Nachbarschaft den Weltraum, dessen Temperatur ohne Zweifel über alle Maßen niedrig ist, wenn wir

auch den Versuchen, sie zu bestimmen, schon im fünften Abschnitt den Glauben verweigert haben; dadurch erkaltet die nächste Luftschicht, und der erkältende Einfluß mag sich durch Strömungen nach unten fortpflanzen, wie der erwärmende Einfluß des Landes nach oben.

Wir mußten schon an einer anderen Stelle die Kenntniß des Gesetzes der Wärmeabnahme mit zunehmender Höhe vermissen; die Erfahrungen über ihren Betrag erstrecken sich immerhin nur auf die tieferen Räume, und überdieß sind reine Ergebnisse nicht auf den Höhen des Landes zu holen, weil selbst auf Berggipfeln, noch mehr aber auf geräumigen Hochplatten oder gar in Hochthälern, der rückwirkende Einfluß des Landes auf die Luft keineswegs ganz fehlt. So bleiben nur Luftreisen übrig, um die nöthigen Anhaltspunkte für die Wärmeabnahme in freier Luft zu holen, und die berühmte Luftreise von Gay-Lüssac, bei welcher dieser Held der Naturwissenschaft fortwährend die meteorologischen Werkzeuge bis in eine Höhe von fast 7000 Meter beobachtete, ist die Hauptquelle der spärlichen Angaben, welche man hat. Hiernach war, bei einer Temperatur von 25 Grad im Meeresspiegel, diejenige bei etwas über 3000 Meter noch 10 Grad über, bei fast 7000 Meter Höhe 7$^1/_2$ Grad unter Null; die Abnahme war zwar keineswegs gleichförmig, so daß man für 1 Grad Abnahme (nach dem hunderttheiligen Thermometer) stets um gleichviel sich hätte erheben müssen, doch weichen diese Höhen nicht bedeutend ab, und geben im Mittel 184 Meter oder 568 Pariserfuß, womit auch andere Beobachtungen übereinstimmen. Diese Angabe (oder 700 Fuß für einen Reaumürschen Grad) legt man denn auch meistens zu Berechnung von Temperaturen in größeren Höhen für unsere Gegenden zu Grunde; nur darf man die Gleichförmigkeit, welche etwa bis in jene Höhe von 21000 Fuß annähernd gilt (übrigens so, daß die Abnahme mit Zunahme der Höhe rascher zu werden scheint), nicht auf alle möglichen Höhen ausdehnen; desgleichen darf man den für unsere Breiten geltenden Betrag nicht auf andere entlegene Breiten ohne weiteres übertragen, und nach Rechnungen, die sich auf die

astronomische Strahlenbrechung gründen, soll in den Tropen die Abnahme rascher sein, indem einem Grad der hunderttheiligen Skale schon eine Erhebung von 389 Fuß entspräche; endlich bleibt sich der Betrag auch an einem und demselben Orte nicht gleich, sondern hat einen Spielraum, vermöge dessen er größer ist in der kälteren Tagesstunde und Jahreszeit, als in der wärmeren.

Die zuletzt erwähnten Umstände hängen damit zusammen, daß mit zunehmender Höhe der Spielraum der Wärme abnimmt und zuletzt verschwindet. In der That findet einerseits geringere Erwärmung bei Tag und im Sommer statt, was sich unmittelbar aus den oben erörterten Ursachen der Wärmeabnahme ergiebt, andererseits erklärt sich ein verhältnißmäßig geringeres Maß der Erkältung bei Nacht und im Winter aus dem geringeren Einfluß der Ausstrahlung, aus aufsteigenden warmen Luftströmungen und aus dem Ueberwiegen des Niederschlags (welcher Wärme frei macht) über die Verdunstung (welche Wärme bindet). Man hat die Höhe, in welcher, abgesehen von zeitweisen Unregelmäßigkeiten, die Wärmewechsel aufhören, oder die Höhe beständiger Temperatur zu schätzen gesucht, allein man wird kein sicheres Ergebniß erwarten; während ältere Schätzungen 40000 Fuß angeben, soll nach neueren noch in 120000 Fuß ein Spielraum von 1/2 Grad herrschen. Die Wärmeabnahme selbst unterliegt in der unteren Luft zeitweise bedeutenden Störungen; nicht nur erkältet sich die dem Boden allernächste Luftschicht in Folge der Ausstrahlung mehr, als in der Höhe von einigen Fuß, wie wir bereits zu bemerken Gelegenheit hatten, sondern solche Ausnahmen erstrecken sich auch in größere Höhen. Auf der erwähnten Luftreise wurden wiederholte Rückkehren höherer Temperaturen bis in die Höhe von 18000 Fuß bemerkt, und am häufigsten, zuweilen längere Zeit hindurch, zeigen sich Umkehrungen der Wärmeabnahme im Winter, namentlich an den Schweizergebirgen, aber auch noch im höheren Norden. Die Ursache ist wohl meistens in den Luftströmungen zu suchen, so daß nämlich unten ein kälterer, oben ein wärmerer Wind

aus entgegengesetzter Weltgegend weht; allein es kann auch mitwirken einerseits erkältender Einfluß des Landes auf die unteren, anderntheils erwärmender Einfluß örtlicher Niederschläge auf die oberen Luftschichten. Die Luftströmungen aber sind überhaupt das Hauptmittel des Wärmeaustauschs zwischen verschiedenen Räumen der Atmosphäre, wie wir schon gesehen haben.

Nicht ganz mit Stillschweigen dürfen wir die Ansicht übergehen, daß die äußerste Luftschicht nicht mehr ausdehnsam sein könne, sondern in einer Art von flüssigem Zustand sich befinden solle, eine Flüssigkeit von verschwindend kleiner Dichte bildend, weil sich sonst keine Gränzen der Atmosphäre denken lassen; sie ist übrigens von demselben großen Mathematiker, welcher die innere Erdwärme als eigen und bis zur Mitte zunehmend bezweifelt, und wir legen noch weniger Gewicht auf sie, als darauf, daß man die Temperatur an der Gränze zu 213 bis 219 Grad der 80theiligen Skale berechnet.

Wir werfen jetzt einen flüchtigen Blick auf Gang, Spielraum und Mittelbetrag der Luftwärme an der Erdoberfläche selbst, wovon zunächst das Klima abhängt. Die Größten und Kleinsten treten sowohl beim täglichen als jährlichen Gang meistens etwas nach demjenigen Sonnenstand ein, bei welchem den Sonnenstrahlen an und für sich die größte Kraft zukommt, weil erst nachher der rückwirkende Einfluß der Erdoberfläche zu der dann noch nicht merklich veränderten Wirkung der Sonnenstrahlung hinzukommt. Die Tagestemperatur steigt von Sonnenaufgang bis zu einem Größten, welches Nachmittags eintritt, worauf die Temperatur sinkt und zwar schneller bis Sonnenuntergang, langsamer in der Nacht bis zu einem in die Nachmitternacht fallenden Kleinsten, welches übrigens wohl zu unterscheiden ist von der augenblicklichen Wärmeerniedrigung kurz vor oder während des Sonnenaufgangs, dem auch eine ähnliche aber geringere Erkältung bei Sonnenuntergang entspricht (zurückzuführen wohl auf plötzliche und vorübergehende Veränderungen im Zustand des Wasserdampfs bei Ankunft und Abgang der Sonne). Die Wendepunkte der Tempera-

tur (und desgleichen ihre Mittelwerthe, das Morgenmittel und Abendmittel) treten übrigens zu verschiedenen Tageszeiten ein, sowohl an einem und demselben Ort in verschiedenen Jahreszeiten, als in der nämlichen Jahreszeit unter verschiedenen Breiten, und zwar dergestalt, daß in höherer Breite und im Winter die Wendepunkte dem höchsten und tiefsten Sonnenstand oder dem Mittag und der Mitternacht näher rücken; und in der Polarzone fällt der tägliche Kreislauf selbstverstanden ganz weg mit dem Tag- und Nachtwechsel selbst, d. h. in der Jahreszeit, wo dieser „suspendirt" ist. Der tägliche Spielraum aber ist im Allgemeinen um so größer, je länger der Tag dauert, worauf jedoch Witterungsverhältnisse und örtliche Lagen mächtigen Einfluß haben.

Im jährlichen Gang der Wärme unterscheiden sich die Tropenorte von den übrigen dadurch, daß jene wegen des zweimaligen senkrechten Sonnenstands zwei Größte und dazwischen zwei Kleinste darbieten (d. h. das beziehungsweise Sommer- und das schlechthinige Winter-Kleinste), diese aber einen Kreislauf mit einem einzigen Größten und Kleinsten haben, wovon jenes nach der Sommer-, dieses nach der Winter-Sonnenwende eintritt. Die Eintrittszeiten selbst aber sind nach den Jahrgängen, wie nach den geographischen Breiten wiederum sehr verschieden; in den verschiedenen Breiten der Tropen sind ohnedieß die Wendepunkte der Zeit nach so verschieden, wie die Sonnenstände, von denen sie abhängen, während dagegen der regelmäßigeren Wetterverhältnisse wegen die Jahrgänge sich weniger unterscheiden. Der Gang der Jahrestemperatur ist überhaupt nicht stetig, sondern mit Sprüngen und Rückgängen behaftet, von welchen einige vermöge ihrer häufigen Wiederkehr fast auf eine tiefere Ursache schließen lassen. Es gehört dahin z. B. die schon sehr verschieden erklärte Erniedrigung der Temperatur im Mai, die im nördlichen Europa sehr allgemein beobachtet wird, die berüchtigte Pankratiuskälte, welche jedoch keineswegs in jeglichem Jahr statt findet, so daß man sie vielleicht am ehesten als die in Folge der ersten Gewitterverbreitung eintretende Abkühlung zu betrachten hat, welche bei

uns in mittleren Jahrgängen, also gewöhnlich, in die Mitte des Mai, in frühen vielleicht schon in den April, in späten erst in den Juni fällt. Der jährliche Spielraum fällt sehr verschieden aus, je nachdem man dabei den Unterschied zwischen der mittleren Winter- und Sommerwärme, oder den Unterschied der mittleren Temperatur des kältesten und wärmsten Monats, oder den Unterschied der mittleren Aeußersten, oder den Unterschied einzelner (schlechthiniger) Aeußersten im Auge hat (die Unterschiede nehmen natürlich in dieser Folge zu, z. B. für Brüssel 10½, 12½, 30, 48 Grad). Alle diese Unterschiede wechseln begreiflicher Weise sowie der Jahreszeitenunterschied selbst vor allem mit der Breite; alsdann sind aber alle Umstände hier (wie bei dem täglichen Spielraum) von Einfluß, welche temperaturausgleichend wirken, eine größere Höhe und Meeresnachbarschaft.

Die Mitteltemperatur des Jahres selbst ist (allerdings in Verbindung mit dem jährlichen Spielraum) das vorzugsweise Kennzeichen des Klimas. Sie hat aber selbst einen Spielraum wegen der Ungleichheit der Jahrgänge, welcher bei uns auf einige Grade sich belaufen kann; auf dergleichen vorübergehende Störungen der Mitteltemperatur kommen wir weiter unten zurück. Die Hauptelemente, von denen die Mittelwärme abhängt, sind begreiflicher Weise die geographische Breite und die Meereshöhe. Nach den Beobachtungen hält zwar die Aenderung der Mitteltemperatur mit derjenigen der Breite so wenig gleichen Schritt, wie mit derjenigen der Höhe; übrigens ist nach Mitteln, die sich hauptsächlich auf Europa beziehen, der Temperaturunterschied, welcher einem Breitenunterschied von 1 Grad entspricht, ungefähr demjenigen gleich, den ein Höhenunterschied von 320 Pariserfuß zur Folge hat, nämlich ½ Grad der hunderttheiligen Skale. Von ungleich geringerem Belang sind die übrigen Umstände, welche Einfluß auf die Jahrestemperatur haben, und auf der Vertheilung von Land und Meer, von Hoch und Nieder, auf Bodenart und Pflanzendecke, endlich auf Strömungen in Meer und Luft beruhen; man hat sie daher klimatische Störun-

gen genannt, und darunter positive, welche die Jahreswärme erhöhen, und negative unterschieden, welche sie erniedrigen.

Die Nachbarschaft des Meeres beschränkt zunächst den Spielraum der Temperatur, wie bereits bemerkt, und zwar nach beiden Seiten, Winterkälte mildernd und Sommerhitze dämpfend, so daß dabei dieselbe Mitteltemperatur herauskommen kann, wie im Binnenland, wo strengere Winter mit heißeren Sommern wechseln, und dieß bildet eben den Unterschied des See- und des Binnenklimas. Ebensowohl kann sich aber ein Gewinn oder ein Verlust für die Mitteltemperatur ergeben; ersteres wird meistens in der gemäßigten, letzteres in der heißen Zone der Fall sein, und der erwärmende oder erkältende Einfluß erhöht sich noch durch die Natur der Strömungen, je nachdem sie warmes oder kaltes Wasser herbeiführen, sowie durch den Zustand des Wassers, ob gefroren oder nicht; in dieser Hinsicht ist Europas Westen bis in den hohen Norden begünstigt, indem das atlantische Meer eine entschieden positive Wirkung äußert, und der Welttheil im Nordwesten schmal an ein offenes Meer gränzt, während Nordamerika und Sibirien mit weitgedehnten Küsten an das hier fast immer gefrorene Eismeer stoßen. Von noch größerem Einfluß als die Meeresströmungen sind die herrschenden Winde, und es scheint, daß darauf hauptsächlich das mildere Klima der Westküsten, das strengere der Ostküsten in der gemäßigten Zone beruht, indem z. B. in Westeuropa die Südwestwinde, in Nordostamerika die Nordwestwinde gegen die anderen vorherrschen.

Die Einflüsse, welche die Gestaltung und Natur des Bodens üben, sind sehr mannigfaltiger Art. Gebirgszüge üben häufig auf ihre beiden Abhänge einen entgegengesetzten Einfluß, besonders bei ostwestlicher Streichung, indem sie vom einen Abhang kalte Winde abwehren, vom anderen warme, wobei man nur an den Einfluß der Alpen auf das Klima von Deutschland und Italien erinnern darf. Große Festlandsmassen in der heißen Zone wirken auf die ihnen vorgelagerten Länder erwärmend; so ist Afrika ein „natürlicher Ofen"

für Europa, wobei überdieß das zwischenliegende Mittelmeer den schädlichen Einfluß desselben, nämlich seine Gluthwinde, mäßigt, desgleichen ohne Zweifel Australien für jene heißeste Seegegend, wo die Gewürze ausgebrütet werden, während Nordamerika tropenwärts von Meer umgeben ist. Der temperaturerniedrigenden Wirkung der Meereshöhe wird auf weitausgedehnten Hochflächen oder muldenförmigen Hochthälern durch die Rückwirkung des festen Erdbodens mehr begegnet, als auf schmalen Bergrücken und vereinzelten Gipfeln. Was endlich die Natur des Bodens betrifft, so hat Bodenbedeckung durch Wälder und waldige Moräste einen erkältenden Einfluß, vermöge der geringeren Erwärmung des beschatteten Bodens, der fortwährenden Verdampfung und der durch die Pflanzenoberfläche vermehrten Strahlung, und es gehört daher auch zu den wärmeerniedrigenden Umständen bei der Westfeste im Gegensatz zur Ostfeste, daß dort die großen tropischen Landmassen üppige Pflanzenwildnisse sind, hier Wüsten mit nackten Felsen oder Sand, welche die höchsten Hitzegrade annehmen, wie wir gesehen haben.

Die schönste Grundlage zur Uebersicht der klimatischen Verhältnisse der ganzen Erdoberfläche hat Humboldt mit seinem System thermischer Linien aufgestellt, der Linien, welche die Orte von gleicher mittlerer Jahrestemperatur verbinden, oder der Isothermen, sowie der Linien gleicher mittlerer Sommer- und Winter-Temperatur, oder der Isotheren und Isochimenen, welche miteinander die mittleren Spielräume der Jahreswärme darstellen. Wollte man aber dabei die beiden Hauptmomente, Breite und Höhe, zugleich berücksichtigen, so würden die Linien gleicher Wärme wegen der regellosen Vertheilung der Erhebungen des Landes äußerst verwickelt ausfallen, während sie im Allgemeinen die Parallelkreise begleiten, wenn man von der verschiedenen Meereshöhe absieht, und nur die Orte von gleicher Meereshöhe, namentlich also im Meeresspiegel selbst vergleicht. Auch kann man die Temperaturen in verschiedenen Höhen (nach den obigen Angaben) wenigstens mit einiger Annäherung auf den Meeresspiegel zurückführen,

und so die Isothermen des Seespiegels auch da ausfüllen, wo hohes Land die Erdfläche einnimmt. In diesem Sinn sind also jene Linien gleicher Wärme aufzufassen, und die Isothermen würden mit den Parallelkreisen zusammenfallen, wenn die Störungen nicht vorhanden, vielmehr die Breite das einzige Moment wäre. So aber schlingen sie sich im Allgemeinen wellenförmig um die Parallelkreise her, polwärts sich wölbend in Folge positiver, äquatorwärts in Folge negativer Störungen.

Auf der nördlichen Halbkugel treten besonders zwei bedeutende Wölbungen oder Ausbiegungen nach Norden und zwei nach Süden hervor; unter jenen findet die größere in Westeuropa, die kleinere in Westamerika statt, unter diesen die größere in Asien, die kleinere in Ostamerika. Mit zunehmender Breite nimmt aber die Abweichung der Isothermen von den Parallelkreisen zu; während sie in den Tropen nur geringere Biegungen zeigen, nehmen sie von den mittleren Breiten an in Folge jener Hauptwölbungen die Gestalt eines liegenden Achters an, bei dem es aber noch nicht zur Kreuzung gekommen ist, zuletzt trennen sie sich (nach erfolgter Kreuzung) in den Polargegenden in zwei abgesonderte Ringe, deren Mitten die beiden ziemlich entlegenen Punkte sind, wo die niedrigste Mitteltemperatur herrscht. Diese Punkte, die nördlichen Kältepole, liegen im Norden der beiden breiten Festlandsmassen, der asiatische Pol in der Nähe des sibirischen Kaps Taimura (in 79½ Grad Breite und 140 Grad östlicher Länge), mit einer Mitteltemperatur von 14 Grad unter Null, der amerikanische Pol nördlich von der Barrowstraße (in 78 Grad Breite und 97 Grad westlicher Länge) mit einer Mitteltemperatur von 16 Grad unter Null; der Nordpol dagegen, den man wohl früher ohne weiteres für den kältesten Punkt der Erde ansah, kann dieß dem Zug der Isothermen zufolge nicht sein (übrigens wird seine Mitteltemperatur verschieden geschätzt, von 6 bis 12 Grad unter Null). Ebenso folgen die höchsten Temperaturen nicht genau dem Erdgleicher, mit welchem übrigens die Isotherme von 22 Grad (oder 23 nach Anderen)

nahe zusammenfällt, allein es kommen Mitteltemperaturen bis zu 24 und 25 Grad auf der Erde vor, und die Linie, welche die höchsten Mitteltemperaturen der Erde enthielte, d. h. die beziehungsweise wärmsten Punkte der einzelnen Meridiane verbände, der sogenannte Wärmeäquator, kann keine Isotherme sein, da die höchsten Mitteltemperaturen auf den verschiedenen Meridianen verschieden sind. Ja man hat gegen das Vorhandensein einer solchen Linie bedeutsame Zweifel erhoben und bemerkt, daß es zwei solcher Linien geben möchte, sofern auf den Oceanen zu beiden Seiten des Aequators Größte statt finden, von denen aus die Wärme diesem zu abnehme, desgleichen, daß wenn man es auf die schlechthin höchsten mittleren Wärmegrade der Erde abgesehen habe, eher eine Folge von länglichen Ringen dem Aequator entlang herauskomme, als eine stetige Kurve, weil nothwendig im Inneren der tropischen Kontinente die Wärme größer sein müsse als an den Küsten, zumal in Afrika. Will man übrigens an jenem Wärmeäquator mit seinen beziehungsweisen Größten (die sich natürlich dann nicht gleich sind, so wenig als die beiden Kleinsten, welche die Kältepole darbieten) festhalten, so liegt er zum größeren Theil im Norden des Erdäquators, und wölbt sich am nördlichsten im Inneren von Afrika, der heißesten Binnengegend der Erde, während die kleinere Ausbiegung südwärts vom Aequator in den ostindischen Archipel nördlich von Australien fällt, die heißeste Seegegend der Erde.

Auf der südlichen Halbkugel sind die Wärmeverhältnisse noch wenig erforscht und der Zug der Isothermen weniger sicher, als auf der nördlichen; es läßt sich erwarten, daß sie wegen des Vorwaltens weiter Meeresflächen weniger von den Parallelen abweichen und nur im Inneren der Festländer und in eingeschlosseneren Meeren Biegungen darbieten; nördliche Biegungen finden statt an der Westküste von Südamerika, südliche an der Ostküste desselben Erdtheils, sowie an der ostafrikanischen Küste und dem benachbarten indischen Meer. Daß im Allgemeinen hier niedrigere Temperaturen in höheren Breiten herrschen, als auf der nördlichen Halbkugel, ist

ein Vorurtheil, denn einmal stehen den kühleren Sommern der Südhalbkugel mildere Winter zur Seite (wobei das Seeklima mit den früher angedeuteten jahrszeitlichen Verhältnissen gegenwärtig in einerlei Sinn wirkt), und dann könnte es nach dem Vorhergehenden nur soviel heißen, daß die niedrige Temperatur, welche z. B. etwa unter dem 60sten Breitegrad statt findet, auf der südlichen Halbkugel rund herum sich erstreckt, während sie auf der nördlichen stellenweise erst in höheren, stellenweise aber auch schon in niedrigeren Breiten eintritt. Es ist ebendaher auch sehr die Frage, ob auch auf der südlichen Halbkugel zwei Kältepole, verschieden vom Erdpol, etwa ein australischer und ein südamerikanischer, anzunehmen seien; wenigstens der Gang der Isothermen, soweit man ihn kennt, spricht keineswegs dafür. Ohne Zweifel führte zu dieser Vermuthung der Zusammenhang, den man zwischen den Kältepolen und magnetischen Polen der Erde annehmen zu dürfen geglaubt hat. Allein obschon der nordamerikanische Kältepol und der dort befindliche magnetische Nordpol allerdings nahe zusammenzufallen scheinen, so ist doch jener Zusammenhang nach dem heutigen Standpunkt des Erdmagnetismus sehr in Frage gestellt, und er scheint vielmehr von dem verlassenen Standpunkt des irdischen Doppelmagneten herzurühren, dessen zwei Nordpole dann gut zu den zwei nördlichen Kältepolen zu passen schienen, sowie der um den Erdgleicher sich schlängelnde Wärmeäquator zu dem ähnlich ziehenden magnetischen Aequator. Durch diesen vermeintlichen Zusammenhang fand sich dann auch die Theorie, welche die Erde als ein Solenoid in Folge ostwestlicher thermoelektrischer Ströme betrachtet, gleichsam thatsächlich unterstützt, allein wir müssen diese Thatsachen eben bezweifeln, ohne damit einen sonstigen Zusammenhang zwischen dem Erdmagnetismus (namentlich den magnetischen Ungewittern) und den Wärmeverhältnissen des Planeten (besonders sofern sie auf meteorischen Umständen beruhen) in Abrede stellen zu wollen, was wir schon wegen des Polarlichts nicht dürfen.

Wenn nun auf einer und derselben Isotherme, z. B. der von 8 Grad, zwei Orte liegen können, wovon der eine Som-

mer von 12 Grad und Winter von 4 Grad, der andere Sommer von 20 Grad und Winter von 4 Grad unter Null hat, so ist daraus zu ermessen, wie sehr die Isotheren und Isochimenen von den Isothermen, sowie von einander abweichen müssen. Je kleiner der Spielraum, desto spitzer wird der Winkel sein, unter welchem die Isothere und die Isochimene an dem betreffenden Ort sich schneiden; in Binnenorten aber von großem Spielraum können sie sich selbst rechtwinklig schneiden und die Isotherme dann diesen rechten Winkel halbiren; die Isotheren werden, wenn man von Küstenorten mit geringem Spielraum landeinwärts geht, polwärts, die Isochimenen äquatorwärts von den Isothermen abweichen. Noch auffallender würden die Abweichungen, wenn man die Linien gleicher mittlerer Januar- und Juli-Wärme verzeichnen wollte, oder die Isothermen des wärmsten und kältesten Monats. Wie weit erst die vereinzelten Aeußersten auseinanderweichen, welche in Folge außerordentlicher Störungen der Temperaturverhältnisse in selteneren Jahrgängen eintreten, davon kennt jedermann Beispiele aus eigener Erfahrung. In Paris z. B. stieg im Sommer 1793 die Wärme auf etwas über 31 Grad, und im Winter 1795 sank die Kälte ebendaselbst auf 19 Grad unter Null, was hier die Aeußersten in dem Zeitraum von 1706 bis 1846 waren, und es erhebt sich also selbst im westlichen Europa der Spielraum der Einzeläußersten bis zu 50 Grad. Ungleich bedeutender sind freilich die Spielräume im inneren Asien; zu Chiwa soll im Jahr 1840 die Temperatur im Winter auf 35 Grad unter Null gefallen und im Juni auf 37 Grad gestiegen sein, desgleichen hatte Fort Reliance in Nordamerika 45 unter Null und im Mai 32 Grad; aber selbst in den heißesten Gegenden von Afrika, wo Hitzegrade von mehr als 35 Grad etwas gewöhnliches sind, kommen durch blose nächtliche Ausstrahlungen Kältegrade bis zum Eispunkt vor.

Merkwürdig ist ferner die Vergleichung der auf der Erde überhaupt vorkommenden höchsten und niedersten Luftwärme. Bleibt man zunächst bei der mittleren Jahreswärme stehen, so ergiebt sich aus der Vergleichung der

Kältepole mit dem Wärmeäquator ein Unterschied von 40 Grad. Geht man zur Vergleichung der Sommer und Winter fort, so hat man zu Kouka (Innerafrika) eine Mitteltemperatur der drei wärmsten Monate von 25 Grad, und 26 Grad für den wärmsten, wogegen zu Jakuzk (Sibirien) die drei kältesten Monate eine Mitteltemperatur von 31, der kälteste von fast 33 Grad unter Null darbieten, also ein Unterschied von 56 bis 60 Grad, wobei übrigens der Unterschied der beiderseitigen Sommer nur 12 Grad, der im Winter aber gegen 50 Grad beträgt. Wenn man endlich zu Einzeläußersten in den wärmsten und kältesten Gegenden der Erde fortgeht, so hat man auf der einen Seite in Ostindien, Arabien und Afrika theils bei völliger Windstille, theils bei den Gluthwinden der Wüsten, Schattentemperaturen von 32, 38, ja 42 und 45 Grad (letztere ist in Murzuk als Größtes beobachtet, wo mehrere Monate die Wärme nicht unter 34 Grad gesunken ist). Auf der anderen Seite aber stehen nordamerikanische und sibirische Temperaturen von 34 (Insel Iglulik, wo das Quecksilber 4 Monate lang gefroren blieb), 40, ja 45 (Fort Reliance) und 46 (Jakuzk 1829) Grad unter Null. So ergiebt sich zwischen den höchsten und niedrigsten Einzeltemperaturen, die auf der Erde vorkommen, ein Unterschied von mehr als 90 Grad der 80theiligen Skale.

Nach den Isothermen sind die Wärmezonen abzugränzen, die man auf jeder Halbkugel als die Zonen der kalten, gemäßigten und warmen Klimate von der Polarzone, Mittelzone und Tropenzone unterscheiden muß, die auf den blosen Sonnenstand sich beziehen und mit welchen sie nur im Allgemeinen zusammenfallen. An die Stelle der Wendekreise müssen hier die beiden Isothermen von 18 Grad treten, wovon die nördliche durch Teneriffa, Cairo, Bagdad, Delhi, Assam, Makao, Sandwichinseln, Florida, die südliche durch die Damaraländer in Westafrika, das südliche Madagaskar, mitten durch Australien, durch Lima und Riojaneiro geht. An die Stelle der Polarkreise aber werden die Isothermen von null Grad treten, wovon die nördliche durch Island, das Nordkap, Katherinenburg, Tomsk, Kamtschatka und Kumber-

landhouse in Kanada zieht, die südliche aber kein bewohntes Land berührt, indem selbst noch in der Nähe des Feuerlands die mittlere Jahreswärme ein paar Grad über Null zu betragen scheint, die antarktischen Länder aber gänzlich unbewohnt sind. In der gemäßigten Zone kommen an den Gränzen wohl schon umschlossene Landstriche vor, welche auf der einen Seite das heiße, auf der anderen das kalte Klima theilen, gleichsam kalte und heiße Inseln, und man kann sie wieder in drei Zonen zerfällen, die warme, wo noch kein Frost, wenigstens nicht anhaltend, auftritt, die gemäßigte im engeren Sinn, wo die warme Zeit über entschiedene Frostzeiten noch überwiegt, und die kühle, wo das Verhältniß sich umkehrt. Von einer anderen Seite werden diese Grundklimate näher bestimmt durch den Spielraum, wornach man gleichmäßige, veränderliche und äußerste Klimate unterscheidet. Die drei nördlichen Erdtheile verhalten sich dann in ihren gemäßigten Theilen so, daß Asien heiße Sommer mit kalten Wintern, Europa kühle Sommer mit milden Wintern, Nordamerika mit strengen Wintern kühle Sommer verbindet, im Winter an Asien, im Sommer an Europa sich anschließend.

Nicht zu verwechseln sind mit den drei Zonen, die wir so eben unterschieden haben, drei andere Zonen, die sich auf den Zustand des Wassers, vornehmlich auf den des atmosphärischen Niederschlags beziehen, die Zonen des Regens, des veränderlichen Niederschlags und des Schnees. In der ersten fällt im Meeresspiegel nur Regen (Schnee höchstens ausnahmsweise und vorübergehend), sie erstreckt sich zum Theil tief in die gemäßigte Zone hinein, z. B. in Westeuropa, wo sie die Südwestspitze von England und die Bretagne streift; in der letzten fällt blos Schnee, und Regen oder Aufthauen bildet eine ebensolche Ausnahme, wie dort Frost und Schnee. Ungleich tiefer rückt natürlich die Aequatorialgränze des Schnees, wenn man sie strenger nimmt, und durchschneidet dann das Mittelmeer im Süden. Uebrigens ist klar, daß diese Aequatorialgränze eher einer Isochimene als einer Isotherme entspricht, und umgekehrt die Polargränze des Regens

einer Isothere. Ebenso verhält es sich mit der Winter- und Sommergränze des Polareises, und letztere begränzt um die Kältepole her eine Zone des ewigen Polareises oder des ununterbrochenen Frosts; übrigens sind diese Gränzen mit den Jahrgängen veränderlich und auf der Nordhalbkugel scheint erst jenseits des 75. Breitegrads das Eis eine zusammenhängende Fläche zu bilden, deren Ausdehnung größer als die von Europa wäre, wenn es von da an stets ununterbrochen sich erhielte. Man hat auch eine Aequatorialgränze des Treibeises zu ziehen gesucht, das (wie das Gletschereis) weit unter die Schneegränze gelangt, und z. B. im atlantischen Meer fast die Azoren erreicht, in der Südsee aber selten bis zum Kap oder bis Buenosayres gelangt.

Mit den Breitenisothermen sind Höhenisothermen zu verbinden, um das klimatische Bild der Erdoberfläche zu vollenden. Es sind Flächen, wie die Chthonisothermen im zehnten Abschnitt, nicht Linien, welche alle diejenigen Punkte verbinden, die in verschiedenen Höhen über dem Seespiegel einerlei Mittelwärme haben, und die verschiedenen Abhänge des hohen Landes in ungefähr gleichlaufenden Linien schneiden. Jede dieser Isothermflächen wölbt sich über dem Wärmeäquator am höchsten aufwärts und sinkt von da gegen die Kältepole zur Erdfläche herab, die sie in gewissen Breiten erreicht, um dann selbst ins Innere der Erde einzutreten und als eine Chthonisotherme sich fortzusetzen. Ueberhaupt sind unsere Höhen- oder Luftisothermflächen nur die äußere Fortsetzung der letzteren, ebenfalls stärker abgeplattet als das Erdsphäroid. „So liegt, wenn man die Mittelwärme des Nordpols etwa zu 8 Grad unter Null annimmt, die Chthonisothermfläche von 8 Grad über Null daselbst in einer Tiefe von ungefähr 2000 Fuß, nähert sich dann, mit zunehmender Entfernung von der Erdaxe, der Oberfläche und schneidet dieselbe in der Isotherme von 8 Grad, steigt alsdann über den Erdboden als Höhenisothermfläche auf, durchschneidet die Alpen in einer Höhe von 1200, die Anden von Quito in einer Höhe von 12000 Fuß, senkt sich dann wieder, und kehrt in der südlichen Isotherme

von 8 Grad in den Boden zurück. Die Gränzflächen dieses Systems aber sind einerseits die Chthonisothermfläche von 24 Grad, die nur im Inneren von Afrika an die Oberfläche heraustritt, und die Höhenisothermfläche von 16 Grad unter Null, die nur im amerikanischen Kältepol zum Seespiegel herabsinkt. Mit diesen Flächen kann man sofort noch Höhenisotherm- und Höhenisochimenflächen verbinden, und da der jährliche Spielraum mit der Breite wächst, so sind die ersteren Sphäroide von geringerer, die letzteren von größerer Abplattung; wenn z. B. auf den Anden von Quito der Spielraum fast verschwindet und die drei Flächen in der Höhe von 12000 Fuß zusammenfallen, so findet sich auf der Nordhalbkugel die Isothere von 8 Grad erst in der Breite von 70 Grad, die Isochimene von 8 Grad aber schon in der Breite von 41 Grad.“

Die wichtigste unter den Flächen, von denen wir sprechen, ist die Schneefläche oder die untere Gränze des ewigen Schnees, welche die verschiedenen Gebirge der Erde in ihren Schneelinien schneidet; sie entspricht der Sommergränze des Polareises oder Polargränze des Regens, und eine zweite Fläche, unterhalb der gar kein Schnee fällt, entspricht der Wintergränze des Polareises oder der Aequatorialgränze des Schnees. Auf die Höhe der Schneelinien hat aber, außer dem Mittel und Spielraum der Temperatur, dem Grad der Luftfeuchtigkeit, auch die Gestaltung der Gebirge großen Einfluß; sie ist verschieden auf der Nord- und Südseite ostwestlicher Gebirge (was bei den Alpen bis zu 1600, bei den Pyrenäen bis 1100 Fuß geht), sie steigt ferner über Hochplatten höher als über Tiefen in Folge der Wärmestrahlung (woraus der dem vorigen widersprechende auffallende Umstand zu erklären ist, daß am Himalaya die Schneelinie auf der Südseite nur 12000, auf der Nordseite 15000 Fuß hoch liegen soll, desgleichen die Angabe, daß sie in Hochperu auf der östlichen Kordillere zu 15000, auf der westlichen über 17000 Fuß sich erhebt). Die Schneelinien sind überhaupt nur als die mittleren Gränzen des ewigen Schnees zu betrachten und es tritt derselbe allmälig ein,

dergestalt daß von den ersten Schneeflecken bis zu größeren Schneefeldern Höhen von mehreren Hundert Fuß zu ersteigen sind. Die Gipfel der Gebirge ragen um sehr verschiedene Größen über die Schneelinie empor, in den Pyrenäen und Kiölen nur 2 bis 3, in den Alpen, Kaukasus und Anden 6 bis über 8, in der antarktischen Zone und im Himalaya 11 bis über 14 Tausend Fuß.

Von der Umgestaltung des ewigen Schnees zum Gletschereis haben wir schon an einer anderen Stelle gesprochen; es findet sich über und unter der Schneelinie, etwa zwischen den Höhenisothermen von 8 Grad unter und 5 Grad über Null, denn auch der Firn, zumal die unteren Schichten desselben, werden durch Schmelzwasser in Eis verwandelt; besondere Hervorhebung verdienen aber die unterhalb der Schneelinie befindlichen immerwährenden, aber veränderlichen Eismassen, die Gletscher vorzugsweise, die sich an den Alpen bis zu fast 3000 Fuß herabziehen, da dieses Gebirg in dieser Höhe von der Höhenisotherme von 5 Grad geschnitten wird. Ihre größte Entwicklung erreichen die Gletscher in den Polargegenden; so sind Island (mit seinen blauen Jökuln), Norwegen u. s. w. ganz erfüllt mit gewaltigen Gletschern, die sich oft bis an die Küsten herabziehen, was ohnehin in Grönland, Spitzbergen und in den antarktischen Ländern der Fall ist, manchmal mit mächtigen senkrechten Wänden. Während im Altai und Himalaya die Gletscher bis auf schwache Spuren fehlen sollen, treten dagegen im Thianschan und Kuenlun ganze Gletscherreviere auf. Während ferner im Kaukasus, sowie in den Pyrenäen die Gletscherbildung weniger hervortritt, ist sie in größter Mannigfaltigkeit in der Mitte der gemäßigten Zone an den Alpen entwickelt, wo allein vom Montblanc bis zur Tyrolergränze 400 Gletscher gezählt werden, welche 1 bis 7 Stunden lang, $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunden breit und 100 bis 600 Fuß mächtig sind.

Am Abhang des hohen Landes folgen sich Regionen von verschiedener Mittelwärme, welche ganz den Zonen entsprechen, die wir der Erdfläche entlang unterschieden haben und

hier in kleinen Entfernungen übereinander liegen, während sie der geographischen Breite nach auf sehr große Räume sich erstrecken (da eine Strecke von 1 Grad Breite oder 15 Meilen polwärts einer senkrechten Erhebung von 3 bis 400 Fuß entspricht). Bei stufenmäßiger Abdachung ergeben sich breitere Regionen, und man unterscheidet z. B. in Mexiko die übereinander liegenden warmen, gemäßigten und kalten Landstriche ausdrücklich mit diesen Namen. Der Umstand, daß Landstriche von so verschiedener Temperatur im Gebirgsland in unmittelbarer Nähe von einander liegen, giebt dem Gebirgsklima seinen eigenthümlichen Charakter, bezeichnet durch schnelle und örtliche Wechsel in Temperatur und Witterung, in völligem Gegensatz zu dem Steppenklima, wo die Gleichförmigkeit des Bodens auf weite Strecken nur anhaltende und allgemein verbreitete Witterungsverhältnisse gestattet.

Die vereinzelten Temperaturäußersten, welche die verschiedenen Klimate zeitweise darbieten, weisen auf vorübergehende außerordentliche Störungen in der Wärmevertheilung hin, und wir haben im vorigen Abschnitt versucht, die Ursache davon in einem allmäligen Fortrücken der großen Luftströmungen von einem Meridian zum anderen nachzuweisen. Es tritt hierin der Einfluß der geographischen Länge auf die Temperatur noch von einer anderen Seite hervor, den wir schon an dem Zug der Isothermen mit ihren Ausbiegungen wahrgenommen haben. Und wenn wir von jenen Meridianstrichen der Winde auf die Isothermen zurückblicken, so muß man sie überhaupt als veränderliche Linien ansehen, welche, in Folge der hierin begründeten Temperaturstörungen, um eine mittlere Lage schwanken; man hat selbst den Gedanken gehabt, an ihre Stelle zunächst Linien gleichzeitig gleicher Wärme zu setzen, deren stetige Verschiebungen auf der Erdfläche den Gang der Temperaturen im Großen und den Wechsel in der Wärmevertheilung anschaulich machten; diesen Verschiebungen entspricht dann auch eine Bewegung der Kältepole, die besonders beim asiatischen sehr bedeutend ist (schon im Verlauf des einzelnen Jahrs, wo der amerikanische fast unverändert

bleibt). Auch erwächst aus diesen Betrachtungen die Ansicht, „daß zu allen Zeiten dieselbe Menge von Wärme, nur ungleich vertheilt, an der Erdoberfläche sich befindet, indem jedes Aeußerste sein Gegengewicht hat, weßhalb man auch an andere äußere Einflüsse außer der Sonnenstrahlung keineswegs zu denken hat“.

Wir kommen damit auf unsere Erklärung gegen kosmische Einflüsse auf das Klima zurück, womit wir den vorigen Abschnitt geschlossen haben. Veränderungen in der Gesammtwärme, welche die Sonne der Erde zustrahlt, liegen allerdings in den Störungen der Erdbahn, nämlich der Excentricität, sie sind aber verschwindend klein, wie wir gesehen haben; Veränderungen in der Wärmevertheilung aber bietet die Aenderung der Schiefe dar, allein auch diese hat so enge Gränzen, daß ihr Einfluß auf die Klimate nur sehr unbedeutend sein kann. Das Klima der verschiedenen Landesräume scheint sich aber auch in den geschichtlichen Zeiten nicht merklich verändert zu haben; was von Island, Grönland, wo das Klima unwirthlicher geworden, sowie von Kanada, Neuengland, wo es sich verbessert haben soll, angeführt wird, ist einestheils zu örtlich, anderntheils findet es in geologischen Veränderungen seine Erklärung, z. B. wie bei den letztgenannten Ländern in Ausreutung der Wälder. Sehr bedeutend freilich und zum Theil wirklich räthselhaft sind die Veränderungen, welche die Klimate in der Vorzeit erfahren haben müssen, selbst wenn wir von der für sich nicht gehörig begründeten Eiszeit, die wir im elften Abschnitt besprochen, Umgang nehmen. Indeß giebt der Einfluß der irdischen Eigenwärme, die gänzlich andere Vertheilung von Wasser und Land, Höhe und Tiefe u. s. w. vielleicht doch hinreichenden Erklärungsstoff, ohne alsbald mit manchen Geologen an fast mechanisch unmögliche Verrückungen der Erdaxe im Erdkörper, oder an bittweise angenommene Veränderungen in der Sonne, Zwischenstellung kosmischer Massen, wärmere und kältere Gegenden des Weltraums zu „apelliren“. Da wir übrigens schon im zwölften Abschnitt von den Spuren der höheren vorzeitlichen Klimate einiges angedeutet

haben, so bemerken wir nur noch, daß dieselben bis in die Tertiärzeit und selbst in den Zeitraum des älteren Diluviums sich erstreckt haben müssen, und daß die Eiszeit von ihren Verfechtern in die Epoche des jüngeren Schuttlands gesetzt wird vor dem Eintreten der jetzigen Klimate, daß man aber mit ihrer Wiederbeseitigung ebensosehr in Verlegenheit ist, wie mit ihrer Herbeiführung.

XVI.

Leben und Geist.

Wenn wir es noch unternehmen, in einem Schlußabschnitt an dem unendlichen Reichthum zu nippen, welchen die Belebung der Erdoberfläche darbietet, so geschieht es mehr, um den Ort, den diese nach der Idee des Kosmos einnimmt, nicht geradezu leer zu lassen, als in der Meinung, daß wir dieses Gebiet hier in der bisherigen Weise erläuternd ermessen könnten, wozu vielmehr ein fünftes Buch oder ein dritter Theil erforderlich wäre. Der Mensch selbst aber erscheint im Hintergrund des Kosmos, nicht nur sofern er nach seiner Naturseite die Stufenfolge der Organismen abschließt, wobei er, eben als das Ziel der ganzen Naturentwicklung selbst den Schlüssel zu ihrem Verständniß giebt, sondern es ist auch die Erdoberfläche unter dem Einfluß der geistigen Macht ein Gegenstand, auf welchen der Kosmos an der Gränze seiner Betrachtungen wenigstens die Aussicht zu eröffnen hat, ohne übrigens ein allgemeines Gemählde von der geistigen Welt, zu welcher der „Mikrokosmos“ sich entfaltet, in sein „Naturgemählde“ aufnehmen zu wollen.

Die Entstehung des Lebens in der Erdgeschichte nachweisen oder begreiflich machen zu können, ist der Wissenschaft bis jetzt nicht gegeben. Zwischen der chemischen Stoffbildung oder dem Hergang einer Krystallisation und der Bildung einer Pflanzenzelle besteht noch eine unausgefüllte Kluft; denn wenn auch manche Hergänge, wobei ein Pflanzenleben der untersten Stufe (z. B. die grünen Fäden und Flocken auf schlammigem

Wasser) sich bildet, chemischen Prozessen gleichen, so gehen dieselben doch eben wieder an schon vorhandenem organischem Stoff vor, welcher von der Zerstörung anderer Organismen herrührt und in kleinsten Theilchen überall, im Boden und Wasser, selbst in der Luft verbreitet ist. Die Erfahrung ist in der That über den Satz, daß alles Lebendige aus Ei und Samen entsteht, noch nicht hinausgekommen, und ließe sich auch der absteigende Hergang nachweisen, wo aus der Zerstörung höherer Organismen niederere hervorgiengen durch wirklich „mutterlose Erzeugung", von der es übrigens kaum ein entschiedenes Beispiel giebt, so wäre damit für den aufsteigenden Hergang noch nichts gewonnen, und noch weniger für den allerersten Anfang. Nicht minder räthselhaft als das erste Hervortreten des Lebens in der unorganischen Welt ist aber das Auftreten des Selbstbewußtseins auf einer gewissen Stufe der thierischen Entwicklung, womit das geistige Leben erst durchdringt, während wir allerdings sozusagen zerstreute Elemente desselben (unverknüpft durch ein „Ich") schon in der höheren Thierwelt in Menge gewahren.

So ist zur Zeit die „organische Metamorphose" der dunkelste Punkt in der Geschichte der Erde, und es ist deßhalb nicht zu verwundern, daß man insgemein so geneigt ist, hier unmittelbar auf eine Schöpfung zurückzugehen. Wohl aber wissen wir soviel von der Geschichte der Erde, wie sich im zwölften Abschnitt gezeigt hat, daß jener dunkle Hergang sich wiederholt hat, und zwar mit fortschreitender Vollkommenheit der Organismen, so daß wir nach den vorhandenen Ueberresten ein Bild der untergegangenen Pflanzen- und Thiergeschlechter entwerfen und eine Art von Geschichte der organischen Bildungen aufstellen können. Dagegen hat sich im jüngsten Zeitraum der Erde, seitdem im Menschen das Ziel der Lebensentwicklung erreicht ist, oder wenigstens in den geschichtlichen Zeiten die organische Welt, die Gespielin des Menschen, nicht mehr verändert, höchstens daß ein Paar Arten ausgestorben oder neuentstanden sind.

Unter dem Einfluß des unbekannten Etwas, welches man

Lebenskraft, organisches Prinzip zu nennen pflegt, erwächst eine eigenthümliche Mechanik und Chemie der organischen Welt. Wohl finden wir eine Menge mechanischer Vorrichtungen, Hebelsysteme, Haarröhrchen, Druck- und Saugwerke, wir finden optische, akustische, elektrische Vorrichtungen; aber die Kräfte, die dabei ins Spiel gesetzt werden, sind andere, als in der unorganischen Welt. Und kann man etwa bei dem Kreislauf der Säfte in den Pflanzen hoffen, mit Haarröhrchensaugung auszureichen, so ist Nervenreitz und Muskelkraft, worauf alle thierische Bewegung, auch die unfreiwillige im Kreislauf des Bluts u. s. w., beruht, eine ganz neue, unserer Mechanik unauslegbare Kraft. Wir finden die mannigfaltigsten chemischen Hergänge, Auflösungen und krystallisationsartige Prozesse (in der Stoffanbildung), Verbindungen und Zersetzungen, leise Verbrennungsprozesse u. s. w.; aber die Stoffe, welche sich aus denselben Elementen bilden, sind andere als in der unorganischen Welt, bis jetzt fast unzugänglich der chemischen Kunst, welche sie nur in die Grundstoffe zerlegen, aber nicht daraus zusammensetzen kann, höchstens daß man einige Bedingungen kennt und in der Werkstätte nachahmen kann, um einen in den anderen überzuführen (z. B. Stärke in Gummi und dieses in Zucker). Man wird von diesem Schlußabschnitt keinen physiologischen Streifzug erwarten, der sein Gebiet einigermaßen durchliefe, allein über die organischen Stoffe erlauben wir uns noch eine Bemerkung.

In der That liegen der organischen Welt die Elemente zu Grund, aus denen auch die unorganische Welt besteht; es giebt keinen Grundstoff in Pflanzen und Thieren, der nicht auch sonst vorkäme; wohl aber giebt es eine beträchtliche Anzahl von Elementen, welche den organischen Gebilden durchgängig fremd bleiben. Näher zerfallen die Grundstoffe nach ihrem Verhältniß zur Organbildung in drei Klassen, in die schon angedeuteten ganz fremden (wohin viele der sogenannten Metalle gehören), in die sozusagen nur beigezogenen Stoffe, die meist in der unorganischen Welt massenhaft auftreten, und in die vorzugsweise organischen Elemente, woraus

die einfachen organischen Stoffe, welche die Grundlage der organischen Gewebe bilden, oder die sogenannten „näheren Bestandtheile“ bestehen. Diese sind eigentlich nur vier, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, höchstens daß noch Schwefel und Phosphor bei einigen mehr als vierelementigen organischen Verbindungen hinzutreten. Einige (z. B. flüchtige Oehle) enthalten blos zwei, Kohlenstoff und Wasserstoff, die Mehrzahl (z. B. Stärke, Zucker, Fett) drei, nämlich die vorigen und Sauerstoff, eine große Anzahl (die meisten thierischen Stoffe) vier, nämlich die vorigen und Stickstoff, nur wenige aber fünf oder sechs, indem z. B. beim Eiweiß, Faserstoff, Käsestoff zu den vorigen noch etwas Schwefel oder Schwefel und Phosphor kommt; Kohlenstoff aber fehlt bei keinem. Das Vorkommen des Stickstoffs kann als kennzeichnend für die *thierischen Stoffe* betrachtet werden, obwohl es einerseits auch solche giebt, die ihn nicht enthalten, wie die Fette, sowie andrerseits auch pflanzliche Stoffe, von denen er einen wesentlichen Bestandtheil ausmacht, wie die Pflanzenbasen und der schon erwähnte Eiweißstoff; das Verhältniß der stickstoffhaltigen und der stickstofffreien Stoffe kehrt sich sozusagen im Thierreich vergleichungsweise mit dem Pflanzenreich um. Zu diesen Stoffen, woraus das Leben die näheren Bestandtheile seiner Organe bildet, zieht es noch eine beträchtliche Anzahl anderer bei, um dieselben mit jenen näheren Bestandtheilen zur Bildung der Flüssigkeiten und Gewebe zu verwenden, die in den organischen Körpern unmittelbar vorhanden sind, so daß ihnen schon der Anatom begegnet. Die Pflanzen verwenden außer dem schon genannten Schwefel und Phosphor noch die Metalle der Kieselerde, des Kalis, Natrons, Kalks, der Bitter- und Thonerde, Eisen und Mangan, alle an Sauerstoff gebunden, einige, nämlich Kalium, Natrium und Magnium, auch an Chlor und (in Meerespflanzen) an Jod; Erden und Laugen treten in der Thierwelt sehr zurück außer der Kalkerde, diese sowie Eisenoxyd, Phosphor und Schwefel sind im menschlichen Organismus selbst die hauptsächlichsten unter den beigezogenen Stoffen.

Bedenkt man nun, daß die mannigfaltigen einfachen organischen Stoffe (Säuren, Basen und neutrale Stoffe) letztlich nur aus vier Elementen bestehen, so wird man alsbald ganz andere Gesetze der Verbindungen erwarten, als die, welche in der unorganischen Welt regieren, wovon wir im neunten Abschnitt eine Vorstellung gegeben haben. Wir haben nun nicht mehr blos zweielementige Verbindungen (dergleichen dort auch noch die Salze sind, indem in ihnen nur je zwei Stoffe zusammentreten), sondern auch drei- und vierelementige; die Chemiker streben zwar darnach diese auf zweielementige zurückzuführen, indem sie nach sogenannten „Radikalen“ forschen, d. h. zusammengesetzten Stoffen (wie z. B. das im zwölften Abschnitt erwähnte Cyan), welche die Rolle von Elementen spielen, allein die bisherigen Ergebnisse sind theils nur vereinzelt theils kaum mehr als Theorien. Wir haben ferner nicht mehr die einfachen „Atomverhältnisse“, wovon dort ebenfalls die Rede war, sondern höchst verwickelte Zusammensetzungen, und sehr verschiedene Stoffe (wie die ganze große Gruppe der Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff) unterscheiden sich nur in den Mengverhältnissen dieser Elemente, ja häufig tritt selbst der Fall ein, daß die Verhältnisse gleich, die Stoffe aber gleichwohl ganz verschieden sind, indem der eine etwa von Kohlenstoff und Wasserstoff je 4, der zweite je 8, ein dritter je 16, und ein vierter je 64 Atome enthält (die sogenannten isomören Verbindungen).

Die in beständigem Stoffwechsel (Verähnlichung und Ausscheidung) vor sich gehende Ernährung (mit oder ohne Wachsthum) der organischen Körper bietet die anklangreichsten Betrachtungen dar nach dem Woher und dem Wie, und sie erscheint nicht nur als einer der wichtigsten pflanzlichen und thierischen Prozesse (hinsichtlich des Wie), sondern auch (hinsichtlich des Woher) als ein wahrhaft tellurischer Prozeß. Wir können freilich auf diese für Landwirthschaft und Heilkunde gleich bedeutsamen Betrachtungen, womit der große deutsche Chemiker in neuerer Zeit so großes Aufsehen in Eu-

ropa erregt hat, nicht weiter eingehen; wir erinnern nur (um das „tellurische“ zu bebeispielen) an den schon im vierzehnten Abschnitt erwähnten Kreislauf des Sauerstoffs, an die ebenfalls schon berührten Beiträge der Gesteinsverwitterung zur Pflanzenernährung (Brache), an die „Seele der Landwirthschaft“, wodurch den Pflanzen nicht nur ihr Stickstoffbedarf zugeführt wird, den sie keineswegs aus der Luft nehmen, sondern aus dem Boden durch das bei der Thierverwesung sich bildende Ammoniak, sondern auch mineralische Stoffe (schwefelsaure und phosphorsaure Salze) dem von den Pflanzen ausgesogenen Boden wieder erstattet werden (mit anderen Worten an den Dünger). Ueberhaupt aber haben uns frühere Abschnitte schon Gelegenheit gegeben, den Zusammmenhang geologischer und organischer Hergänge zu bemerken.

Die organische Welt entwickelt aber nicht nur eine eigenthümliche Chemie bei Bildung ihrer näheren Bestandtheile, sondern sie bildet daraus durch eine ebenso eigenthümliche Mechanik ihre festen und halbfesten Gewebe, sowie die halbflüssigen und flüssigen Stoffe, die sie in ihren Gefässen unablässig bewegt. Die organischen Gewebe, deren Grundform in beiden Reichen das sogenannte Zellgewebe ist, sind wieder die Grundlage der anatomischen Systeme, welche (wie die Gefäßsysteme beider Reiche) den ganzen Organismus sozusagen durchlaufen, und die Organe selbst (im engeren Sinn, denn schon jede einzelne Zelle, Ader u. s. w. kann Organ in weiterem Sinn heißen) sind theils hervorstechende Bildungen in einzelnen jener Systeme, theils ganz selbständige Vorrichtungen, zu denen die verschiedenen Systeme mit einander beitragen. Vielleicht darf man alle Pflanzenorgane von der Wurzel bis zur Blüthe und Frucht in die erste Klasse setzen, desgleichen bei der Thierwelt alle sogenannten Eingeweide, während hier die äußeren Glieder und vor Allem die Sinnorgane die zweite Klasse vorstellen.

Je mehr nun die Gewebe, Systeme und Organe in einem Organismus sich gesondert haben, auf einer desto höheren Stufe steht derselbe nach innerer und äußerer Gliederung, und

dieß wird daher den Gesichtspunkt für das natürliche System im Pflanzenreich, wie im Thierreich geben müssen. Allein wenn auch die großen Hauptabtheilungen dieser Naturreiche nach jenem Gesichtspunkt leicht hervortreten, so schwierig ist es immerhin, die Stufenfolge in das Besondere zu verfolgen und die Merkmale der untergeordneten Abtheilungen auf eine innerlich nothwendige Art, nicht etwa nur nach einzelnen Rücksichten, oder nach spielenden Aehnlichkeiten festzusetzen. Auch wird dieß wieder bei dem Pflanzenreich schwieriger sein als bei dem Thierreich, wo die schlechthinige Norm in der Vollkommenheit des menschlichen Organismus gegeben ist; denn was ist die vollkommenste Pflanze nach obigem Gesichtspunkt? Wir stimmen Oken gern darin bei, diese Rolle unseren Kernobstbäumen zuzuerkennen, wo mittelhoher, dauernder und (eichenartig) vielgegliederter Baumwuchs mit rosenartiger Blüthenform und vollkommenster Fruchtform verbunden erscheint, allein mit solcher Entschiedenheit wie im Thierreich stellt sich dieß keineswegs heraus. Es ist ein tiefer Gedanke von Oken, jedes der beiden organischen Reiche als eine stufenmäßige Verwirklichung der Gewebe, Systeme und Organe zu begreifen, welche in den höchsten Organismen derselben in größter Vollständigkeit und Sonderung auftreten, und es ist keine Frage, daß dieser Gedanke geeignet ist, den Weg zu dem wahren natürlichen System zu bahnen; allein eine andere Frage ist es, ob dasselbe mit Okens Pflanzen- und Thiersystem erreicht ist, denn man darf sich nicht verhehlen, daß die Einreihung der Gattungen und Zünfte viel willkührliches an sich hat und vielleicht dem Wesen des Prinzips nach an sich haben muß, da ja schon darüber gestritten werden kann, welches jene wesentlichen Organe seien, und welches ihre Stufenfolge, noch vielmehr aber bei jeglichem Gebilde, welches Organ in ihm neu auftrete und vorzugsweise den Karakter seines Organismus begründe. Bei Okens Pflanzensystem selbst aber ist es besonders auffallend, daß nachdem alle vorhergehenden Kreise und Klassen nach den in der entwickelten Pflanze neben einander bestehenden Organen unterschieden worden sind, im höchsten

Kreise der Fruchtpflanzen die Klassen nicht sowohl nach verschiedenen Organen oder wesentlichen Bestandtheilen eines Organs, vielmehr nach den verschiedenen Formen eines Organs, der Frucht (Nuß, Pflaume, Beere, Apfel) gebildet werden, oder sollten Nuß, Pflaume, Beere die Bestandtheile, Momente der vollkommensten Frucht, des Apfels sein, etwa wie Samen (Fruchtboden), Gröps (Stempel) und Blume die der Blüthe?

Wenn nun solche Bemerkungen wie die letzte keineswegs das natürliche System an sich, sondern nur das Okensche treffen, so liegt doch das Mißliche der natürlichen Systeme überhaupt darin, daß die Einordnung der Gattungen schwankend wird, und um so mehr, je natürlicher d. h. allseitiger das System sein will, während ein künstliches System, gerade je künstlicher d. h. je einseitiger es ist, die Einreihung um so sicherer festsetzt, aber freilich mit dem Erfolg einer kunterbunten Zusammenstellung. So ist es bei dem Linneischen Pflanzensystem, dem gangbarsten unter allen, wo bekanntlich die Staubfäden und Stempel (die Befruchtungsorgane) nach Zahl, Stellung, Vertheilung, das ganz einseitige Eintheilungsprinzip liefern, und doch sondert sich bei demselben der niederste Pflanzenkreis übereinstimmend mit anderen natürlicheren Systemen in seinen Kryptogamen aus. Denn diese Pflanzen, die Pilze, Moose und Farren, deren niedere Stufe hinsichtlich der Organsonderung eben das Nichthervortreten jener wesentlichen und hochstehenden Organe beurkundet, sind zugleich die Akotylen des sogenannten natürlichen Systems von Jüssieu, sowie die Markpflanzen des Okenschen Systems, nur daß dieses seltsamer Weise die Zapfenträger (Nadelhölzer) in dieselben hineinzuzwängen weiß.

Das Jüssieusche System ist übrigens an sich keineswegs ein natürliches System, vielmehr wird es wenigstens bei den Unterabtheilungen künstlich, nur daß es dabei geschickt das Prinzip wechselt, und daß die drei Hauptabtheilungen nach den Samenlappen beim Keimen in der That die wahren natürlichen Provinzen des Pflanzenreichs darzustellen scheinen. Denn die Verschiedenheit beim Keimen hängt eben mit der

wesentlichen Verschiedenheit in der Blüthe und im Bau des Stamms zusammen. Die Akotylen sind Pflanzen ohne deutliche Blüthe und Samen, die sich durch bloße Keimzellen (Sporen) fortpflanzen, und in deren Stamm alle Gefäßbündel in der Mitte oder in einzelnen größeren Gruppen zusammengestellt sind; ohne deutliche Sonderung von Wurzel Stengel und Laub, Rinde Bast und Holz, nichts weiter als das Pflanzengewebe, fügt Oken bei. Die übrigen Pflanzen haben Blüthen und Samen (Phanerogamen), aber die einen, die Monokotylen, entwickeln beim Keimen nur Ein Keimblatt oder Samenlappen (Kotyledon), ihre Gefäßbündel ferner sind ohne scheinbare Ordnung im Zellgewebe des Stamms vertheilt und ihre Blattnerven verlaufen parallel; bei den anderen, den Dikotylen, entfalten sich beim Keimen zwei oder mehrere Keimblätter, ihre Gefäßbündel sind regelmäßig im Kreis gestellt und ihre Blattnerven verzweigen sich netzartig. Bei den Monokotylen, führt Oken weiter aus, ist Kelch und Blume kaum geschieden, in ihrem Stock ist Wurzel, Stengel und Laub nur in einander geschachtelt, sie sind daher als „Scheidenpflanzen (oder Schaftpflanzen)“ zu betrachten und stellen die anatomischen Systeme (die Scheiden) vor. Zu ihnen gehören die Gräser, Zwiebeln oder Lilien (Liliaceen) und Palmen (jeden dieser Namen im weitesten Sinn genommen, wobei Oken unter den Lilien z. B. die Gewürze, und unter den Palmen z. B. die Spargeln begreift). Die Dikotylen dagegen sind nach Oken erst die eigentlichen Organpflanzen (Stockpflanzen), indem bei ihnen die vollkommene Trennung in Wurzel Stengel und Laub hervortritt. In dem Pflanzensystem, von welchem wir sprechen, giebt sofort die Stellung der Staubbehälter die drei Unterabtheilungen der Monokotylen (Hypogynen, Perigynen und Epigynen), während die Dikotylen zuerst in Pflanzen ohne Blumenkronen, solche mit ein- und solche mit mehrblättriger Blumenkrone (Apetalen, Monopetalen, Polypetalen) zerfallen, jeder dieser Kreise aber wieder nach demselben Prinzip wie die Monokotylen eingetheilt wird. Offenbar wird das System hiemit künstlich, allein die „natürliche“ Eintheilung

der Dikotylen bei Oken nach seinen vorgeblichen zehn Organen (Wurzel, Stengel, Laub, die den Stamm, Samen, Gröps, Blume, welche die Blüthe, Nuß, Pflaume, Beere, Apfel, welche die Frucht vorstellen sollen) müssen wir schon nach Obigem zum Mindesten als unsicher und gezwungen erkennen, und wir behaupten daher, daß das natürliche Pflanzensystem als solches noch kaum über die allgemeinsten Abtheilungen (die Länder oder Provinzen) hinausgediehen ist.

Im Thierreich könnten wir eher eine gelungene Durchführung des Okenschen Grundgedankens erwarten, allein auch hier müssen wir gleichwohl die innere Nothwendigkeit häufig vermissen, wornach dieses oder jenes Organsystem eben in der betreffenden Thierklasse als erstmalig und kennzeichnend auftreten soll, z. B. das Muskelsystem in den Lurchen (Amphibien)? Wohl aber läßt sich das natürliche Thiersystem mit Entschiedenheit weiter verfolgen. Nicht nur die Haupteintheilung in die niedere und höhere Thierwelt, die wirbellosen und Wirbelthiere (Okens Eingeweidthiere und Fleischthiere, weil bei jenen die höheren thierischen Systeme, die das Fleisch bilden, von den niederen Systemen der Ernährung und Fortpflanzung, die das Thierreich gewissermaßen mit dem Pflanzenreich theilt, sich noch nicht gesondert haben), sondern auch die allbekannten vier Klassen der letzteren, Fische, Lurche, Vögel, Säugthiere gehören zu dem, was ein für allemal feststeht. Etwas unentschiedener und daher abweichender sind die Eintheilungen der niederen Thierwelt, besonders seitdem zu den allbekannten Klassen der Insekten und Würmer die Pflanzenthiere des Meeres, unter denen die Korallen am Meeresboden festsitzen und in ihren Steinbauten zu Milliarden zusammen und gegen die Oberfläche heraufwachsen, und die erst durch das Mikroskop in neueren Zeiten entdeckten Aufgußthierchen in ihrer alle Zahl überschreitenden allbelebenden Verbreitung hinzugekommen sind. Diese niedere Thierwelt zerfällt wieder in zwei große Abtheilungen, die ungegliederten und die Gliederthiere, aber je nachdem man bei den Ringelthieren oder Würmern in den Querringen der Haut (zumal in Erinnerung

an die Schlangen) schon den Beginn der Gliederung sieht, oder nicht, wird man unter den Gliederthieren neben Krabben und Fliegen (flügellosen und geflügelten Insekten) die Würmer begreifen oder sie ausschließen und im letzteren Fall als die oberste Klasse der ungegliederten Thiere neben Infusorien, Zoophyten (d. h. Polypen und Quallen) und Molusken (Weich- oder Schalthieren, d. h. Muscheln, Schnecken, Kracken) betrachten. Als weitere Fragen können sich solche erheben wie: soll man nach der älteren Weise Weichthiere und Ringelthiere in der Klasse der Würmer, sowie Krabben und Fliegen in der Klasse der Insekten zusammenfassen oder nicht? Gehören Aufguß- und Pflanzenthiere in eine einzige Klasse der Strahlthiere oder Gallertthiere (da sie einen häutigen oder gallertigen Darm mit einer Oeffnung bilden, um welche strahlenförmig Fäden stehen) oder nicht? Auch könnte man, zumal im Hinblick auf die ungeheure Menge der Gattungen bei den Gliederthieren oder vielmehr insbesondere bei den Fliegen (es sind rund 30000 bekannt, mehr als alle übrigen aufgezählten Thiergattungen zusammen), das Thierreich ebenmäßig mit dem Pflanzenreich in drei Provinzen zerfällen, die Massenthiere (Infusorien, Zoophyten und Mollusken), die Gliederthiere (Würmer, Krabben und Fliegen) und die Wirbelthiere, während Oken auf andere Art drei Provinzen bildet, indem er die Säugthiere als die vollkommen entwickelten „Sinnenthiere“ von den übrigen Wirbelthieren als eigene Provinz absondert.

Man kennt bis jetzt ungefähr 48870 Thiergattungen, welche näher beschrieben sind, indeß glaubt man die Anzahl aller jetzt lebenden auf etwa 88000 schätzen zu dürfen, welche mit den untergegangenen, die man aus Versteinerungen wirklich kennt, bis über 100000 steigen mag. Giebt man den Säugthieren als Verhältnißzahl die Einheit, so gestalten sich nach Oken die Verhältnisse etwa so, daß den Vögeln die Zahl 4, den Amphibien 1, den Fischen $3^1/_3$, den Fliegen 40, den Krabben $1^1/_3$, den Würmern $1^1/_3$, den Weichthieren $5^1/_3$, den Gallertthieren $1^1/_3$ zukommt. Die Anzahl der Pflanzengattungen schätzt man auf etwa 200000, wovon auf die Kryptoga-

men oder Akotylen der sechste Theil kommen soll; Oken erlaubt sich die Schätzung, daß die Anzahl der Gattungen bei den Dikotylen jede der beiden anderen Provinzen etwa dreimal übertreffen, während sie bei Akotylen und Monokotylen etwa gleich sein dürfte. Jeder Schätzung aber entgeht die Anzahl der Individuen sowohl in den einzelnen Gattungen, als in den ganzen Klassen und Kreisen, ist ja selbst bei der Menschengattung die Anzahl der zumal lebenden Individuen nur sehr mangelhaft bekannt, dergestalt daß die Schätzungen über die jetzige Menschenmenge von 872 bis zu 1272 Millionen auseinandergehen (die gewöhnliche runde Zahl 1000 Millionen). Die Menge der Individuen muß bei vielen Pflanzen- und bei den niederen Thiergattungen ins wahrhaft Zahllose gehen, und besonders hervorzuheben sind die außerordentlichen Zusammenhäufungen der Einzelkörper vermöge der organischen Geselligkeit nicht nur in den über Tausende von Quadratmeilen sich erstreckenden Pflanzendecken, sondern auch in den Infusorienlagern, Polypenfelsen, Schalthierbänken, also bei denjenigen Thieren, die noch wie die Pflanzen an die Scholle gebunden sind, ja selbst noch in den beweglicheren Insektenschwärmen und Fischzügen. Die Lebensdauer der Organismen hat bekanntermaßen einen beträchtlichen Spielraum, vom eintägigen Dasein niederer Thiere zum einjährigen der halben Pflanzenwelt, und vom Menschenalter zu dem viele Jahrhunderte befassenden, ja selbst in Jahrtausende laufen sollenden Alter der Bäume.

Die Verbreitung der Organismen auf der Erdoberfläche ist ein reichhaltiger und anklangsvoller Gegenstand, welcher gleichsehr in die Naturgeschichte wie in die Geographie einschlägt (Geographie der Thiere und Pflanzen); es handelt sich dabei einerseits um die Verbreitung nach den einzelnen Provinzen, Kreisen, Zünften u. s. w. der beiden Naturreiche, andererseits um die Verbreitung nach den Zonen, Räumen und Landesformen der Erde. Man hat selbst den Versuch gemacht, große geographische Gebiete nach einzelnen Pflanzen- und Thiergeschlechtern abzugränzen, welche dafür kennzeichnend sein sollen. So hat man die Erde in 25 Pflanzengebiete einge-

theilt, wornach man z. B. von einem Gebiet der Moose und Saxifragen oder dem arktisch-alpinischen Gebiet, einem Gebiet der Labiaten und Caryophylleen oder dem Gebiet des mittelländischen Meers, einem Gebiet der Camellien und Calastrineen oder dem chinesisch-japanischen Gebiet, einem Gebiet der Cacteen und Piperaceen oder Mexiko und Südamerika bis zum Amazonenstrom und bis 1500 Fuß Meereshöhe u. s. w. spricht. Desgleichen finden wir Thiergebiete nach den fünf Welttheilen (das zoologische Reich Europa, Asien u. s. w.) mit je drei Unterabtheilungen (z. B. das arktische Europa, Centraleuropa und das ganze Mittelmeergestade) aufgeführt, ohne übrigens in gleicher Weise, wie bei den meisten jener Pflanzengebiete, einzelne Thiergeschlechter als kennzeichnend hinzustellen. Und damit werden wir uns eher befreunden können, denn Humboldt hat gewiß Recht, wenn er sich gegen die beispielsweise angedeutete Weise der Pflanzengeographen erklärt, indem nicht einzelne, vielleicht vorherrschende Geschlechter oder Zünfte, sondern der Inbegriff sämmtlicher naturwüchsiger Pflanzen den pflanzlichen Charakter eines kleineren oder größeren Erdraums bestimmt, wobei Mannigfaltigkeit der Gattungen, Menge der Einzelwesen und Zusammenstellung oder Gruppirung in Betracht kommt. Dann kommt die Sache auf die Darstellung der Floren und Faunen der betreffenden Erdstriche zurück, wobei man auch zunächst die kleinsten wie die größten Räume berücksichtigen kann (z. B. die mittelrheinische Ebene so gut wie Europa oder die ganze Ostfeste), wobei es sich aber sofort darum handelt, diejenigen Theile der Erdoberfläche auszusondern und gehörig abzugränzen, welche sich in allen jenen Hinsichten bei jedem der beiden Reiche entschieden gleichartig verhalten.

Vom entschiedensten Einfluß auf die Gestaltung der Floren (weniger auf die der Faunen) sind aber die Wärmeverhältnisse, und dieser Einfluß tritt am großartigsten und ausgedehntesten in den Wärmezonen der Erdfläche hervor. Darnach ergeben sich allerdings kennzeichnende Pflanzen (sowie Thiere, vornehmlich aus der niederen, aber auch aus der höheren Thierwelt) für diese verschiedenen Zonen; darnach bestimmen sich die

Aequatorial- und Polargränzen gewisser Pflanzen, welche besonders hinsichtlich der Kulturpflanzen von Wichtigkeit sind und den vielen geographischen Kurven ein neues System hinzufügen. Es ist nicht nur von Polargränzen die Rede, d. h. Kurven, polwärts von welchen die betreffenden Pflanzen, z. B. Palmen, Südfrüchte, Obstbäume u. s. w. der Kälte wegen (desgleichen z. B. die Korallenthiere des Meers) nicht mehr gedeihen, sondern auch von Aequatorialgränzen oder denjenigen Pflanzenlinien, von welchen äquatorwärts eine Pflanze, z. B. der Weinstock, die Eiche nicht mehr fortkommt, weil die zu ihrer Natur gehörige Ruhe oder Zurückziehung des Lebens ins Innere fehlt, welche die Frostperiode gewährt. Die Polargränzen der Pflanzen laufen aber nicht sowohl den Isothermen gleich, vielmehr bald den Isotheren, bald den Isochimenen; beim Weinstock z. B. ist die Isothere maßgebend, welche die zu seinem Reifen erforderliche Wärmemenge bedingt (obwohl auch ein gewisses Maß von Winterkälte nicht überschritten werden darf), bei der Myrthe und anderem immergrünen Laubholz die Isochimene, welche eigentlichen Frost ausschließt, mit dem das Blattwerk nicht besteht; bekannt ist in dieser Hinsicht das Beispiel vom südwestlichen England, wo die Myrthe überwintert, aber der Wein nicht reift. Allein übersehen darf bei allem dem nicht werden, daß die Wärmeverhältnisse keineswegs die einzige Bedingung sind, sondern daß auch Bodengestaltung und Bodenart von wesentlichem Einfluß ist, und dieß kann bedeutende Abweichungen der Pflanzenlinien von den betreffenden Wärmelinien zur Folge haben.

Durch diese Pflanzenlinien erhalten wir der Erdoberfläche entlang Pflanzenzonen, und merkwürdig sind dabei besonders die Zusammenstellungen derjenigen Kulturpflanzen, welche mit einander so ziemlich gleichen Schritt halten, wie z. B. Palmen, Bananen, Cacteen, Guttiferen, Piperaceen u. s. w. die eigentlichen Tropengewächse sind. Betrachten wir beispielsweise noch Europas Pflanzenzonen näher, so folgt auf den südlichsten Gürtel des immergrünen Laubholzes, der Südfrüchte (mit Einschluß der Oliven) und (unter dem Getreide) des Rei-

ses, deren Gränzen nicht genau aber nahezu zusammenfallen, der Gürtel der Kastanie, des Weinstocks und des Maises, so-fort derjenige der Eiche (die Polargränze der Buche läuft im Westen jener ziemlich gleich, ostwärts aber bleibt sie weit süd-licher), der Obstbäume und des Waizens, überhaupt der mei-sten unserer Getreidearten, endlich der Gürtel des Nadelholzes (Kiefer) und der Birke, wovon die Polargränze mit derjenigen der Gerste so ziemlich zusammenfällt. Ebenmäßig verhält es sich mit den Pflanzenregionen an den Gebirgen, wo gleich-sam die Zonen auf einen engen Raum zusammengedrängt er-scheinen, indem die Höhengränzen der Pflanzen sich rasch folgen, bis mit der Schneelinie alles Pflanzenleben aufhört. So folgen sich an unseren Alpen die Kulturregion (Wein, Ka-stanie, Getreide), die Waldregion (Laubholz noch mit Getreide, und Nadelholz bereits mit Gletschern), die Alpenregion (Alpen-kräuter und Sommerweiden), die pflanzenlose Region (Felsen und Firn).

Man hat auch allgemeinere Gesetze über die Verbreitung der Pflanzen und Thiere zu ermitteln gesucht und z. B. fol-gende pflanzengeographische Gesetze aufgestellt. Die verhältnißmäßige Menge der Kryptogamen (Akotylen) nimmt polwärts zu (ihr Verhältniß zu den Phenerogamen ist in den Polargegenden das der Gleichheit, bei uns 1 zu 2, in den Tro-pen 1 zu 9); die verhältnißmäßige Menge der Dikotylen im Vergleich mit den Monokotylen nimmt äquatorwärts zu (in den Tropen ist das Verhältniß 6 zu 1, bei uns 4 zu 1, nördlicher 3 zu 1); ebenso nimmt die Menge der Holzgewächse in der-selben Richtung zu (in den Tropen machen sie den fünften, bei uns den achtzigsten, polwärts den hundertsten Theil aller Pha-nerogamen aus); die ein- und zweijährigen Pflanzen endlich haben ihr Größtes in der gemäßigten Zone und nehmen pol-wärts wie äquatorwärts ab (sie betragen z. B. in Frankreich $^1/_6$, in Lappland $^1/_{30}$, in Guiana $^1/_{17}$ aller phanerogamischen Gewächse). Weniger Bestimmtes läßt sich vom Thierreich aus-sagen; allerdings hält eine größere Fülle von Thierformen stets gleichen Schritt mit der üppigeren Entfaltung der Pflanzen-

welt, und zwar bei niederen wie bei höheren Thieren, doch mehr bei jenen. Es ist besonders die Menge der Insekten, die Riesenhaftigkeit und Wildheit der höheren Thiergeschlechter (die großen Raubthiere, die Riesen unter den Dickhäutern, Wiederkäuern, Laufvögeln und Lurchen aller Art), die Farbenpracht der Fliegen und Vögel, das sonderbare Affengeschlecht endlich, was die tropische Thierwelt bezeichnet. Dabei dürfen wir aber die Allverbreitung der Kulturthiere, übrigens vorzugsweise in unserer Zone, die Singvögel derselben Zone und die Eisbären nicht vergessen. Unter den Meerbewohnern scheint sich sogar das Verhältniß umzukehren, wenigstens so, daß die höher organisirten Thiere polwärts zunehmen (die Walen), während die niedere Thierwelt auch hier das Uebergewicht tropenwärts hat (die Korallen). Es ist überhaupt das Mittel, worin die Thier- und Pflanzenwelt sich bewegt, noch ein bedeutsamer Punkt in der organischen Geographie wie in der Physiologie selbst, da die Organisation mit dem „Lebensmedium" natürlich im engsten Zusammenhang steht. Vorzugsweise tritt dieß in der Thierwelt hervor, welche im Boden und an der Oberfläche, in Wasser und Luft, in Pflanzen und anderen Thieren wohnt und webt; weniger bei der (fast) ganz an die Scholle gebundenen Pflanzenwelt, doch haben wir ebenfalls unterirdische, Land-, Wasser- und Amphibpflanzen, schwimmende und Schmarotzerpflanzen, Schatten- und Lichtpflanzen. Mit dem Gedanken der „Allbelebtheit" unserer Erdfläche verlassen wir das Gebiet des unbewußten Lebens, das wir nur flüchtig in Augenschein genommen haben, um eine noch oberflächlichere Schlußbetrachtung der Menschheit zu widmen.

Der Mensch, dem die Natur im Affen ein Zerrbild vorausgeschickt, im Pferd den talentvollsten Diener und im Hund einen wahren Gesellschafter beigegeben hat, bildet nach seiner Naturseite selbst die entwickeltste Gattung der Säugthierklasse, und zwar eine einzige Gattung im vollsten Sinn des Worts, so gut wie Pferd oder Hund, bei allen Naturverschiedenheiten, welche, Arten oder vielmehr Rassen begründend, in dieser höch-

sten Gattung ebenso vorhanden sind, wie in anderen, obwohl nicht mit so großem Spielraum, wie z. B. beim Hund. Mit der Einheit der Gattung, welche eine physiologische Thatsache ist, darf aber die sogenannte Abstammung von Einem Paar keineswegs verwechselt werden; es könnte höchstens die Möglichkeit hievon in naturgeschichtlicher Hinsicht gemeint sein (gleichsam als Umschreibung des Begriffs „Einheit der Gattung"), aber die Wirklichkeit dieses Hergangs bezweifeln wir sehr schon deßhalb, weil wir nimmermehr glauben können, daß der „tellurische Prozeß der Menschwerdung" auf einen Punkt der Erde beschränkt war, und vielmehr den Gedanken zahlreicher Autochthonen festzuhalten uns genöthigt sehen. Für den Kosmos giebt es daher die Frage nach der Wiege der Menschheit eigentlich kaum, aber ebensowenig die nach ihrem Alter. Denn der Beginn der geschichtlichen Zeit, worüber wir ohnedieß nach den uns erhaltenen Denkmälern kein sicheres Urtheil haben, ist von dem des menschlichen Daseins wohl zu unterscheiden, und wir können uns von der gleichsam vorgeschichtlichen Geschichte der Menschheit nicht wohl ein anderes Urtheil bilden, als daß der Mensch „von der Picke auf diente", daß lange Zeiträume vergehen mochten, bis die vernünftige Anlage zu einer gegenständlichen Macht sich entwickelt, Sprachen sich gebildet, Heerden thierischer Geselligkeit in menschliche Vereine auf dem Grund fester Wohnsitze und der ersten technischen Erfindungen sich umgestaltet hatten. Wir sehen die Menschheit in manchen Erdstrichen auch jetzt noch in Zuständen der Wildheit, welche auf die ursprünglichen Naturzustände zurückschließen lassen, und überhaupt gewähren uns die auf der Erdfläche stets noch neben einander bestehenden Kulturstufen ein Bild von der geschichtlichen Aufeinanderfolge derselben bei der Menschheit im Ganzen. Obgleich wir aber auch einen Verwilderungsprozeß für möglich halten müssen, ja hin und wieder sogar geschichtlich nachweisen können, so sind wir doch geneigt, in den sogenannten Wilden der Gegenwart meistens Rückstände des ersten Naturzustands zu erblicken, haupt-

sächlich da, wo eine ungünstige Landesnatur feste Wohnsitze und Ackerbau unmöglich macht.

Die Naturverschiedenheiten, welche die Menschengattung darbietet, betreffen theils die Außenfläche des Körpers, Hautfarbe und was damit zusammenhängt (Haare), theils den Bau des Kopfs, Gesichts- und Schädelbildung, was wir mehr als jenen ersten Punkt in inneren Zusammenhang mit der geistigen Anlage zu setzen haben. Wenn man daher früher bei Unterscheidung der sogenannten Menschenrassen mehr von der Hauptfarbe ausgegangen ist, sei es daß man nach den fünf Welttheilen fünf Hauptrassen unterschied (übrigens ohne genaue Deckung), die kaukasische (europäisch-vorderasiatische), mongolische (hinterasiatische), äthiopische (afrikanische), malayische (australische) und amerikanische; oder daß man bei dreien stehen blieb, der weißen Haut in den nördlichen Erdtheilen, der schwarzen in den südlichen Erdtheilen der Ostfeste und der rothen Haut in der Westfeste, die übrigen als Uebergangsformen betrachtend: so hat man in neueren Zeiten die Hauptrücksicht auf die Schädelbildung genommen, und daraus bald mehr bald weniger Grundrassen entwickelt, die auch mit jenen mehr oder weniger zusammenfallen; so ist man insbesondere geneigt, auch von dieser Seite drei Grundformen aufzustellen, den schmalen Schädel des Negers und den breiten des Mongolen, die als äußerste Gegensätze in dem ebenmäßigen kaukasischen Schädel ihre höhere Einheit finden sollen. Man hat auch allgemeinere Betrachtungen angeknüpft und z. B. bemerkt, wie im schwarzen Menschen Körperkraft und Sinnlichkeit, im weißen die geistige Kraft im höchsten Maß sich entwickelt, während der rothe Mensch in beidem gänzlich zurücksteht und seit Jahrhunderten seinem allmäligen Untergang entgegengeht; auch die sogenannten Temperamente hat man zu Kennzeichnung der Menschenrassen beigezogen. Welchen Werth man übrigens auf die großen Rassenunterschiede legen mag, so darf man die zahlreichen Uebergangsformen nicht übersehen, welche zwischen jenen Aeußersten ganz allmälig vermitteln und durch Vermischung, sowie

durch Veränderung der Wohnsitze sich noch vermehren, weßhalb Humboldt geneigt ist, kleinere Gruppen vorzuziehen. Auf der anderen Seite giebt es selbst in einem und demselben Volk, das zusammen ein und dasselbe Land bewohnt, z. B. in Folge strenger Kastensonderung, die übrigens vielleicht manchmal mit Einwanderungen zusammenhängt, wahre Rassenunterschiede.

Die kleineren Gruppen aber, welche wir in der Menschenwelt unterscheiden, sind dann nicht sowohl Arten und Rassen, vielmehr Stämme, Völker und Nationen; das entschiedenste Merkmal von gemeinsamer Abstammung und Verwandtschaft aber ist die Sprache, dieses Gebiet „der Naturgeschichte des Geistes“. Die einzelnen Sprachen, nach unten in Sprachzweige und Mundarten auseinander, nach oben in Sprachstämme und Sprachfamilien zusammengehend, erstrecken sich bald über große zusammenhängende Landesräume, bald durchdringen sie sozusagen einander in kleineren Räumen in Folge von geschichtlichen Umwälzungen, welche Völker durch und über einander geschoben haben, gleichwie verschiedene Gesteine, die bunt nebeneinander zu Tage gehen, solche Striche der Erdrinde bezeichnen, welche die mannigfaltigsten Umwälzungen erlitten haben. In der That erinnern die ethnographischen Karten in dieser Hinsicht an die geologischen Karten, welche die zu Tage gehenden Felsarten bezeichnen. Bemerkenswerth ist ferner die außerordentliche Sprachzersplitterung in ganzen Welttheilen, wo die Menschheit auf einer niedrigen Stufe geblieben ist, gleichen Schritt haltend mit der Unvollkommenheit der einzelnen Sprachen, wobei wir an die Menge der amerikanischen Indianersprachen erinnern, und dem gegenüber der Sprachzusammenhang in den Erdräumen, wo die Menschheit zu höherer Bildung sich entwickelt hat, wo nämlich die Vollkommenheit der Sprachen wiederum gleichen Schritt hält mit ihrer Verbreitung über größere Gebiete, sowie mit ihrer gegenseitigen Verwandtschaft, wobei wir nur die große „indogermanische Sprachfamilie“ anzuführen brauchen.

Werfen wir sofort noch einen Blick auf die Wechselwir-

fung zwischen der Menschenwelt und der Erdfläche. Wir sehen in der organischen Welt einen stetigen Fortschritt in der Befreiung von der Scholle, die Pflanzenwelt ist mit dem Boden verwachsen bis auf einige Schwimmpflanzen, und die niedrigste Thierwelt erhebt sich noch kaum über diese Stufe des Daseins. Am entbundensten erscheint der Mensch, welchem vermöge der großen Elastizität seiner Natur die ganze Erdfläche offen steht. Aber die Natur eines Landes ist wieder vom entscheidendsten Einfluß auf die Entwicklung des Menschen, die geistige Ausbildung der Völker ist gleichsam die Kehrseite von der natürlichen Ausbildung ihrer Länder, wobei man nur im Großen an Europa, im Kleinen an Griechenland erinnern darf. Freilich wird man sich nicht vermessen wollen, alle geistigen und geschichtlichen Verhältnisse aus jenen Naturverhältnissen herzuleiten, denn auf den vorgeschichtlichen Zuständen, in denen sich zunächst der ursprüngliche Einfluß der Landesnaturen am reinsten abspiegeln müßte, liegt ein nie ganz aufzuhellendes Dunkel, und zwischen jene und die jetzigen Zustände stellt sich die Verkettung der geschichtlichen Ursachen selbst. Wie sehr wir daher eine anklangreiche Aufgabe der Geographie darin erkennen, jene Einflüsse der Länder aufzudecken, so scheinen uns doch auch viele Geographen in neuerer Zeit zu weit zu gehen, wenn sie z. B. Frankreichs Centralisation, wie Deutschlands Zersplitterung rein geographisch zu begreifen streben.

Welch ein verändertes Aussehen aber gewinnen die Länder, gewinnt die ganze Erdfläche hinwiederum unter dem Walten der geistigen Macht, welche in dieser Hinsicht gewissermaßen den übrigen tellurischen Gewalten sich beigesellt? Zu den natürlichen Gebilden der Erdfläche kommen die angebauten Landstriche, die menschlichen Wohnorte; künstliche Wasserverbindungen, Straßen und Eisenbahnen; Schiffe, Luftbälle und Lokomotiven wetteifern mit den beweglichen Bewohnern der verschiedenen Elemente; Pflanzen- und Thiergeschlechter müssen neue Spielarten treiben; die Naturprodukte der Länder werden ausgetauscht und in Kunsterzeugnisse umgewandelt, mineralische

und organische Stoffe mit künstlichen vermehrt u. s. w. An all dergleichen können wir denken, wenn wir die Erdoberfläche unter dem Einfluß der geistigen Macht betrachten, an der Spitze aber stehen die Staaten, in welchen der Mensch seine Einflüsse auf die Erde zusammenfaßt und befestigt, so daß man häufig über ihren künstlichen Gränzen die Räume vergißt, in welche die Natur selbst die Erde gesondert hat.

Wenn wir zunächst den Menschen als eine Säugthiergattung aufzufassen haben, so müssen wir schließlich bemerklich machen, wie unter dem Einfluß des geistigen Prinzips das Verhältniß des Einzelwesens zur Gattung ein ganz anderes wird als bei einer sonstigen Thiergattung. Hier ist jedes Individuum nur ein mehr oder minder vollkommenes „Exemplar der Gattung", ohne Rückwirkung auf das Wesen und die Geschichte des Ganzen; dort aber erheben sich Einzelne als Talente und Karaktere in engeren oder weiteren Kreisen dergestalt über die „Massen", daß sie mehr als blos vorübergehende Träger der Gattungsnatur werden, und wo dieß im höchsten Grad und weitesten Kreise stattfindet, da zeichnen wir ein gattungsmäßiges Wirken des Einzelwesens mit dem Namen des Genius aus, in welchem die Gattung gleichsam persönliches Dasein gewinnt. Solche seltene Hochbegabungen bilden die Knotenpunkte im Werden des gegenständlichen Geistes, der unpersönlichen geistigen Macht, welche aus der Unzahl der einzelnen geistigen Regungen sozusagen sich „sublimirt" und zu den Schätzen der Naturreiche unseres Planeten neue Reiche von Bildungen fügt, die Maschinen, Bauten, Kunstwerke, Schriftenthume u. s. w.

So haben wir nun das Reich des irdischen Lebens im Fluge ermessen, von den Pflanzenzellen, die auf Sumpfwasser sich aneinanderreihen und von den Miniaturthieren, die nichts als schwimmende Mägen sind, bis zu dem Genius, dem höchsten Erzeugniß unseres Planeten. Und wenn uns das erste Auftreten des Lebens, sowie der Durchbruch des Selbstbewußtseins im menschlichen Organismus tiefe Räthsel sind: so ist es nicht

minder das zeitweise Erscheinen menschlicher Urbegabung, auf welches Gebiet sie zunächst sich beziehen mag, um Epochen in der Geschichte der Menschheit zu begründen; aber an einen Naturzusammenhang (Organisation des Gehirns, der Sinnorgane, des gesammten Nervensystems) wagen wir auch hier zu denken, ohne die ganze Erscheinung darauf zurückführen zu wollen, so wenig als wir das Wesen eines Volks in der Natur seines Landes aufgehen lassen.

Verbesserungen.

Seite	5	Zeile	5	v. o.	lies führen statt führten.
„	88	„	12	v. u.	1759 st. 1838.
„	126	„	13	v. u.	Erdbeben st. Erdboden.
„	191	„	12	v. o.	auf st. aus.
„	194	„	15	v. o.	nahe st. nämlich.
„	211	„	4	v. u.	westwärts st. ostwärts.
„	255	„	17	v. u.	erhält st. erhellt.
„	268	„	14	v. o.	wie st. eine.
„	728	„	7	v. o.	Höhenisother st. Höhenisotherm.

